



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118543** (13) **C2**
(51) МПК
G01V 1/30 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2015 01087**
(22) Дата подання заявки: **07.11.2014**
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **11.02.2019**
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **P.409989**
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **30.10.2014**
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: **PL**
(41) Публікація відомостей про заявку: **11.07.2016, Бюл.№ 13**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **11.02.2019, Бюл.№ 3**
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: **PCT/PL2014/000128, 07.11.2014**
(72) Винахідник(и):
Ісаков Збігнієв (PL),
Сіерадзкі Пшемислав (PL),
Пілецкі Зенон (PL),
Сіціньські Казімієрц (PL),
Чарни Рафал (PL)
(73) Власник(и):
ІНСТИТУТ ТЕХНІК ІННОВАЦІЙНИХ ЕМАГ,
ul. Leopolda 31, PL-40-189 Katowice, Poland (PL)
(74) Представник:
Сорокіна Олена Юріївна, реєстр. №186

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
US 2011/255371 A1, 20.10.2011
US 2010/315902 A1, 16.12.2010
LURKA; A: "Location of high seismic activity zones and seismic hazard assessment in Zabrze Bielszowice coal mine using passive tomography", Journal of China University of Mining and Technology, 20080601 - ISSN 1006-1266, Vol:18, Nr:2, Page(s):177 - 181, XP022942430, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1006-1266\(08\)60038-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1006-1266(08)60038-3)
José Badal ET AL: "S-wave velocity images of the Dead Sea Basin provided by ambient seismic noise", Journal of Asian Earth Sciences, 20131001 - ISSN 1367-9120, Vol:75, Page(s):26 - 35, XP055198048, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.06.017>
David Halliday ET AL: "Seismic interferometry of scattered surface waves in attenuative media", Geophysical Journal International, 20090701 Blackwell Science - ISSN 0956-540X, Vol:178, Nr:1, Page(s):419 - 446, XP055021893, DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04153.x>
Heather Nicolson ET AL: "Seismic interferometry and ambient noise tomography in the British Isles", Proceedings of the Geologists@? Association, 20110401 ELSEVIER, AMSTERDAM, NL - ISSN 0016-7878, Vol:123, Nr:1, Page(s):74 - 86, XP028442865, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pgeola.2011.04.002>

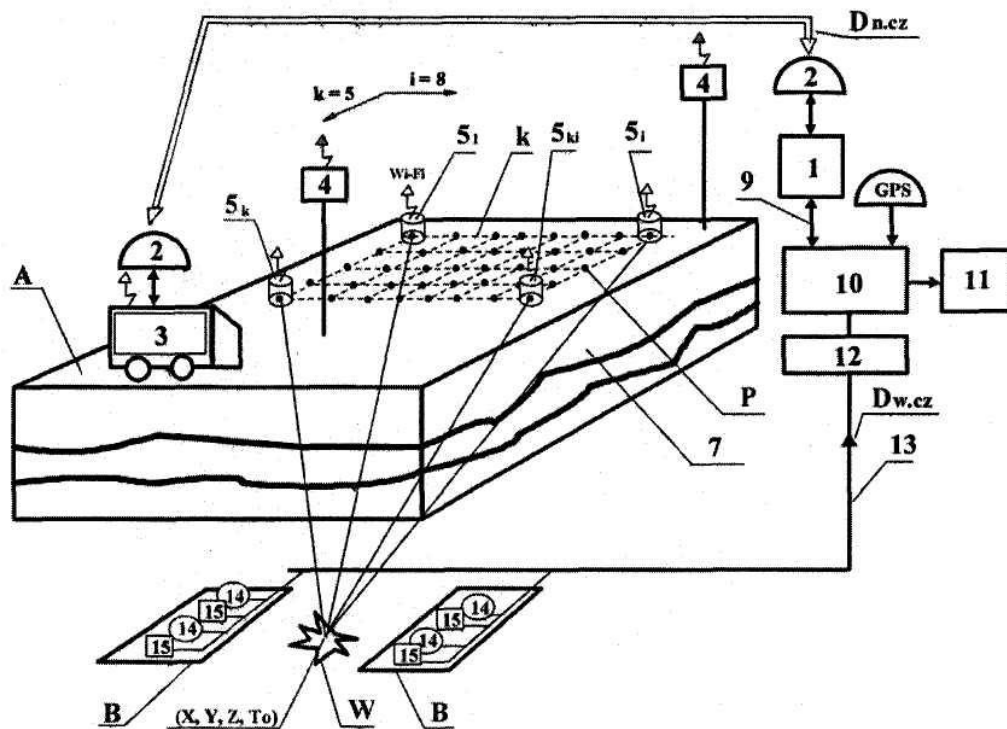
(54) СПОСІБ ТА СХЕМА ДЛЯ АНАЛІЗУ ГЕОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ТА ВІДНОСНИХ ЗМІН НАПРУЖЕНЬ В ШАРАХ, РОЗТАШОВАНИХ НАД ВИРОБКАМИ ПІДЗЕМНОЇ ШАХТИ

(57) Реферат:

Спосіб аналізу геологічної структури та відносних змін напружень в шарах, розташованих над гірничими виробками підземної шахти полягає в тому, що в стаціонарний центр обробки даних (1) передаються дані з мобільного реєстратора вимірювальних даних (3), а також з центральної станції шахтної сейсмічної системи (10), отримані в результаті тісно корельованої за часом реєстрації низькочастотного сейсмічного шуму (Dn. cz.) з поверхневої системи, а також сейсмічних поштовхів, що генеруються гірськими розробками (Dw. cz.). Потім зареєстровані вимірювальні дані, у часових вікнах, найкраще тривалістю 30 с, у вигляді тривимірних записів

UA 118543 C2

низькочастотного сейсмічного шуму ($Dn.cz.$) та сейсмічних поштовхів, що генеруються гірськими розробками ($Dw.cz.$), підлягають обробці із застосуванням методу сейсмічної інтерферометрії для записів шуму, а також пасивної сейсмічної швидкісної і/або амплітудної томографії для записів шахтних поштовхів. Після цього на цій основі визначаються для досліджуваної ділянки гірського масиву (7) ізолінії швидкості поперечної хвилі, а також ізолінії швидкості і/або загасання поздовжньої хвилі за методом пасивної сейсмічної швидкісної і/або амплітудної томографії, які в кінцевому підсумку відображають усереднений стан відносних змін напружень (ΔNP) в шарах, розташованих над гірничими виробками (В). При цьому в момент виникнення гірського поштовху (W) відбувається кореляція параметрів локалізації координат (X, Y, Z) та розрахованого часу (T_o) його виникнення в осередку з часом (T_{pi}) вступів генерованої ним поздовжньої хвилі, в записах низькочастотних тривимірних вимірювальних станцій (5), що реєструються на поверхні шахти, а також відповідних їм значень часу наростання сигналу від моменту вступу поздовжньої хвилі до моменту досягнення реєстрованим сигналом запису поштовху (W) першого максимуму в кожній вимірювальній станції (5). У схемі стаціонарний центр обробки даних (1) з'єднаний з одного боку, краще за все за допомогою модему зв'язку GSM, з мобільним реєстратором вимірювальних даних (3), а з іншого боку з центральною станцією шахтної сейсмічної системи (10), яка сполучена з годинником (GPS) та із візуалізаційно-сигналізаційним модулем (11), а також за допомогою схеми іскробезпечної цифрової передачі (12) та шахтної телетрансмісійної мережі (13) з підземними сейсмометричними станціями (14) та/або сейсмічними геофонними станціями (15).



Фіг.1 Представлена, у спрощеному вигляді, вимірювальна схема, разом з взаємним розташуванням її блоків на поверхні та в підземній частині шахти, в аксонометричному зображенні

Предметом винаходу є спосіб та схема для аналізу геологічної структури та відносних змін напружень в шарах, розташованих над виробками підземної шахти, які призначені для визначення стану небезпеки для інфраструктури поверхні, що впливає з можливості виникнення поштовхів, викликаних гірськими розробками в досліджуваному районі.

В даний час виявлення геологічної структури шарів, що залягають над експлуатованими гірничими виробками, реалізується із застосуванням інвазійних методів, які полягають у збудженні просвічуючих гірський масив сейсмічних хвиль збудниками великої потужності або зарядами вибухових речовин, причому зазвичай використовуються інструменти сейсмічної томографії. Відомі, з публікацій [Dangel S.: Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2003, 128 (1-3), s. 135-158, Gorbatiuk A.V., Kalinina A.V., Volkov V.A. a.o.: Results of Analysis of Data of Microseismic Survey at Lanzarote Island, Canary, Spain, *Pure Appl. Geophys.*, 2004, 161, s. 1561-1578, Boullenger B.: Finite Difference Feasibility Modelling of Time-lapse Seismic Noise Interferometry for CO2 monitoring. *TV Delft, Master Thesis*, 2012], приклади застосування методу низькочастотної пасивної сейсміки LFS при дослідженнях, що стосуються шумів регіонального характеру, що викликаються, як правило, природними процесами, наприклад: землетрусами, вулканічною активністю, хвилями морів і океанів, впливом морських течій на континенти або впливом бурхливого перебігу повітряних мас. Місцеві шуми викликаються коливаннями від руху транспортних засобів, роботою машин, пристроїв і людей, або поштовхами, викликаними гірничими роботами або іншою діяльністю. Частота аналізованих сейсмічних шумів становить, зазвичай, від 0,1 до 3 Гц в разі регіонального шуму, а місцевого шуму навіть до 30 Гц. Максимальний по глибині радіус рекогнозування, пов'язаний з частотою аналізованої поверхневої сейсмічної хвилі може становити від декількох десятків до декількох тисяч метрів. Розвиток методів низькочастотної пасивної сейсміки LFS в даний час стало можливим завдяки використанню сучасної технології у виробництві широкодіапазонних датчиків та збільшенню розрахункової потужності комп'ютерів, шляхом застосування паралельного розрахунку. У методах LFS використовуються багатогодинні записи даних, що спричиняє створення нових додатків, як для реєстрації, обробки, так і для інтерпретації даних. У методах LFS розрізняють два основні методи: метод сейсмічного зондування MS (англ. Microseismic sounding) та метод сейсмічної інтерферометри IS (англ. Seismic interferometry).

При використанні методу сейсмічного зондування реєстрація здійснюється на декількох, що переміщуються протягом часу, вимірювальних точках та постійній референтній точці, а для інтерпретації використовується, головним чином, вертикальна складова сейсмічного шуму. Запис здійснюється в кожній точці протягом не менше 1 години так, щоб забезпечити його стаціонарність.

При використанні методу сейсмічної інтерферометри запис здійснюється безперервно з кроком дискретизації, вибраним для конкретного завдання, без переміщення датчиків. Чим менше радіус рекогнозування шарів, тим крок дискретизації менше. Запис може проводитися з використанням вертикальної складової поверхневої хвилі типу Релея та/або горизонтальної хвилі Лява. Тривалість запису залежить від: характеристики хвильового поля досліджуваного району, в тому числі домінуючої частоти і напрямку поширення, а також від виду реалізованого завдання, наприклад: моніторинг змін, локалізація зон ослаблення, вивчення будови середовища.

Відомий, з патентного опису WO2012044480 (A2), спосіб обробки даних за методом сейсмічної інтерферометрії для дослідження геологічної структури морського дна за допомогою низькочастотних сейсмічних датчиків, що протягнуті по морському дну дослідним судном. Спосіб дозволяє отримати тривимірну картину геологічної структури під морським дном. Розрахунки в цьому способі виконуються з використанням функції Гріна.

Відомі, з опису US2011069580 (A1), способи модифікування спрямованості сейсмічної інтерферометри при визначенні геологічної структури Землі.

Відомий, з опису US2010315902 (A1), спосіб відображення структури під земною поверхнею за допомогою пасивної сейсмічної томографії шляхом застосування сейсмічної інтерферометри, що реєструє сейсмічні сигнали, що генеруються сейсмічними явищами, що відбуваються в гірському масиві Землі.

Відомий також, з публікації Чарни Р.: «Огляд застосування методу сейсмічної інтерферометри», Гірський журнал, 2014, № 7 [Czarny R.: "Przegląd zastosowania metody interferometrii sejsmicznej", *Przegląd Górniczy*, 2014, nr 7], метод сейсмічної інтерферометри, що полягає у відображенні імпульсної відповіді середовища (функція Грін) між парою датчиків, за допомогою операції взаємної кореляції або деконволюції зареєстрованих сейсмічних сигналів на цих датчиках. Цей метод відкриває дуже широкі можливості застосування, від відображення

глибинних структур земної кори, моніторингування, які відбуваються в них зміни, до геоінженерного застосування.

В іншій публікації, Марцак Х., Пілецьки З., Ісаков З.: «Можливості застосування методу сейсмічної інтерферометри в гірничій справі», Гірський журнал, 2014, № 7 [Marczak H., Pilecki Z., Isakow Z., Czarny R.: "Możliwości wykorzystania metody interferometrii sejsmicznej w górnictwie", Przegląd Górniczy, 2014, nr 7], описані тенденції використання цього методу в гірській геофізиці, а також представлені результати аналізу шумів, що викликаються в результаті виконання гірничих робіт, які можуть бути використані для проведення досліджень методами сейсмічної інтерферометри. Представлені також математичні та фізичні основи цього методу. У методі сейсмічної інтерферометри запис здійснюється безперервно з кроком дискретизації, вибраним кожен раз індивідуально для конкретних гірничо-геологічних умов. Чим дрібніше залягають досліджувані структури, тим крок дискретизації менше. Запис проводиться з використанням вертикальної складової поверхневої хвилі типу Релея та/або горизонтальної хвилі Лява. Тривалість запису залежить від: характеристики хвильового поля досліджуваного району, в тому числі домінуючої частоти та напрямку поширення, а також від виду реалізованого завдання, наприклад: моніторинг змін, локалізація зон ослаблення, вивчення будови середовища.

У свою чергу в публікації Ісаков З., Пілецьки З., Серодзкі П. «Сучасна система LOFRES низькочастотної пасивної сейсміки», Гірський журнал, 2014, № 7 [Isakow Z., Pilecki Z., Sierodzki P. "Nowoczesny system LOFRES niskoczęstotliwościowej sejsmiki pasywnej", Przegląd Górniczy, 2014, nr 7] представлена система LOFRES, що призначена для досліджень, за методом низькочастотної пасивної сейсміки LFS, близькоповерхневих геологічних шарів, з використанням сейсмічного шуму. Система, зважаючи на свої вимірювальні функції, пристосована для проведення досліджень за методом сейсмічного зондування та за методом сейсмічної інтерферометрії. Система складається зі стаціонарного центру обробки даних, з'єднаного за допомогою бездротового зв'язку з модулем мобільної реєстрації вимірювальних даних та послідовно, за допомогою автономних пунктів доступу WiFi, з вимірювальними станціями та з референтною станцією. Низькочастотні тривимірні вимірювальні станції обладнані низькочастотними сейсмічними датчиками, з'єднаними за допомогою аналогово-цифрового перетворювача з мікропроцесором та обладнані внутрішнім запам'ятовуючим пристроєм великої ємності, приймачем QPS, схемою бездротового зв'язку та живильним акумулятором. Запис даних здійснюється у внутрішній енергонезалежній пам'яті датчиків, ємністю більше десяти гігабайтів. Синхронізацію часу забезпечує підключений до кожної вимірювальної станції приймач GPS. Автономні пункти доступу WiFi, що працюють в режимі WDS, збільшують радіус зв'язку WiFi.

Основним недоліком застосовуваних до теперішнього часу способів та схем аналізу геологічної структури та відносних змін напружень в шарах, розташованих над гірничими виробками, є їх незручність застосування, пов'язана із застосуванням інвазійних методів, особливо на територіях, де на поверхні шахти в спостережуваному районі є житлова або промислова забудова, а також пов'язана з цими забудовами технічна інфраструктура.

Представлений у публікації Ісаков З., Пілецьки З., Серодзкі П. «Сучасна система LOFRES низькочастотної пасивної сейсміки», Гірський журнал, 2014, № 7 [Isakow Z., Pilecki Z., Sierodzki P. "Nowoczesny system LOFRES niskoczęstotliwościowej sejsmiki pasywnej", Przegląd Górniczy, 2014, nr 7] метод низькочастотної пасивної сейсміки, що використовується для виявлення геологічної структури та відносних змін напружень в шарах, розташованих над певними гірничими виробками, що спостерігаються у версії сейсмічного зондування MS, хоча безінвазійний та з хорошою роздільною здатністю по горизонталі (близько 3,5% довжини хвилі), є мало ефективним та незручним в практичному застосуванні, оскільки вимагає пристрою референтної станції на території, що не піддається впливу гірничих розробок, а також чутливий до нестаціонарності, що просвічується, низькочастотного шуму. Метод MS характеризується також низькою роздільною здатністю виявлення по вертикалі (близько 30% довжини хвилі). Метод у версії сейсмічної інтерферометри IS, хоча і нечутливий до нестаціонарності шуму та зручний у тривалому користуванні в польових умовах, також характеризується малою роздільною здатністю виявлення по вертикалі і в цьому, відомому, вигляді непридатний для аналізу геологічної структури та відносних змін напружень в шарах, розташованих над гірничими виробками підземної шахти.

Метою винаходу є розробка нового, що має більш високу достовірність, способу та схеми, які призначені для безінвазійного виявлення геологічної структури та відносних змін напружень в шарах над вибраними шахтними виробками, по методу низькочастотної пасивної сейсміки, для забезпечення можливості попереджати періодично або постійно про стани виникнення

геологічних аномалій та збільшеної концентрації відносних змін напружень, що передують тектонічним регіональним поштовхам.

Спосіб, що є предметом винаходу, характеризується тим, що в стаціонарний центр обробки даних передаються дані з мобільного реєстратора вимірювальних даних, а також з центральної станції шахтної сейсмічної системи, що одержані в результаті суворо корельованої за часом реєстрації низькочастотного шуму з поверхневої системи, а також сейсмічних поштовхів, генерованих гірськими розробками. Потім зареєстровані вимірювальні дані, у тимчасових вікнах тривалістю краще всього 30 с, у вигляді тривимірних записів низькочастотного сейсмічного шуму та сейсмічних поштовхів, що генеруються гірськими розробками, підлягають обробці із застосуванням методу сейсмічної інтерферометрії для записів шуму та пасивної сейсмічної швидкісної або амплітудної томографії для записів шахтних поштовхів. На цій підставі визначаються для досліджуваного простору гірського масиву ізолінії швидкості поперечної хвилі, а також ізолінії швидкості і/або загасання поздовжньої хвилі, за методом пасивної сейсмічної швидкісної або амплітудної томографії, які в кінцевому підсумку відображають усереднений стан відносних змін напружень в шарах, розташованих над гірськими виробками. При цьому в момент виникнення гірського поштовху відбувається кореляція параметрів локалізації координат, розрахованого часу виникнення цього в осередку, з часом вступу поздовжньої хвилі, що генерується ним та реєстрованої в записах низькочастотних вимірювальних тривимірних станцій на поверхні, а також відповідних їм величин часу наростання сигналу, від моменту вступу поздовжньої хвилі, до моменту досягнення реєстрованим сигналом першого максимуму. У свою чергу, стан відносних змін напружень, в шарах досліджуваного простору гірського масиву над шахтними виробками, піддається поточному порівняльному аналізу в стаціонарному центрі обробки, з прийнятими пороговими допускаючими величинами відносних змін напружень для досліджуваної ділянки гірського масиву. У разі збільшення вимірюваних в поточному порядку відносних змін напружень вище порогових значень відбувається сигналізація місць, в яких виник такий стан, а потім реалізується передача тривимірного результату томографії, виконуваної за методом сейсмічної інтерферометрії, а також усередненої томографії, від стаціонарного центру обробки даних, в центральну станцію шахтної сейсмічної системи, де в візуалізаційно-сигналізаційному модулі здійснюється візуалізація досліджуваних відносних змін напружень.

У схемі для застосування способу, згідно винаходу, стаціонарний центр обробки даних з'єднаний, з одного боку, краще за все, за допомогою модуля зв'язку GSM, з мобільним реєстратором вимірювальних даних, а з іншого боку з центральною станцією шахтної сейсмічної системи, яка з'єднана з синхронізуючим час годинником та з візуалізаційно-сигналізаційним модулем, а також, за допомогою системи іскробезпечного цифрового зв'язку з шахтною мережею зв'язку не менше, ніж з чотирма підземними сейсмометричними станціями та/або не менш, ніж з чотирма сейсмічними геофонними станціями.

Позитивним ефектом винаходу є створення можливості проводити в поточному порядку ефективний аналіз відносних змін напружень в шарах над гірничими виробками шляхом корельованого застосування пасивного методу низькочастотної сейсмічної інтерферометрії та методу пасивної сейсмічної томографії з використанням сейсмічних поштовхів, що генеруються гірськими розробками, що підвищує функціональність, роздільну здатність і точність проведеного рекогнозування на певному гірничому відводі підземної шахти. Рішення, що є предметом винаходу, дозволяє раніше виявляти місця зі збільшеною концентрацією напружень, що передують регіональним тектонічним поштовхам, що має істотне значення для застосування відповідної профілактики в районах, де на поверхні є житлова та/або промислова забудова, а також технічна інфраструктура. Аналіз відносних змін напружень дозволяє попереджувально сигналізувати про стан небезпеки. Винахід забезпечує глибоку, що досягає декількох сот метрів, безінвазійну пенетрацію геологічних шарів, без необхідності застосування методів збудження штучної сейсмічної хвилі за допомогою детонування зарядів вибухової речовини. Вимірювання вимагає тільки монтаж датчиків та пристрою, з'єднаних з шахтною сейсмічною системою, схеми для вимірювання низькочастотної пасивної сейсміки. Суттєве значення має скорочення часових інтервалів між черговими аналізами, завдяки використанню методу сейсмічної інтерферометрії, в якому, враховуючи корельованість записів шуму, не потрібна стаціонарність реєстрованого шуму.

Предмет винаходу, приклад виконання, представлений на кресленнях, де на Фіг. 1 представлена, в спрощеному вигляді, вимірювальна схема, разом з взаємним розташуванням її блоків на поверхні та в підземній частині шахти, в аксонометричному зображенні, на Фіг. 2 представлена блок-схема вимірювальної схеми.

Спосіб, що є предметом винаходу, реалізується з використанням методу сейсмічної інтерферометри за допомогою, найкраще сорока, низькочастотних тривимірних вимірювальних станцій 5-5i, розташованих з самого початку вимірювань у п'яти вимірювальних лініях "k". Метод сейсмічної інтерферометри полягає у відображенні імпульсної відповіді середовища, функції Гріна за допомогою взаємної кореляції або деконволюції сейсмічних сигналів, зареєстрованих парами низькочастотних тривимірних вимірювальних станцій 5. Для безперервності контролю за методом сейсмічної інтерферометри необхідне забезпечення безперервності їх живлення безпечною напругою від блоку живлення 8 постійним струмом, а також безпроводного прийому даних з використанням безпроводної мережі передачі даних WiFi з місцевими автономними точками доступу WiFi 4 та мобільного реєстратора вимірювальних даних 3, що реєструє і передає дані, краще всього, системою пакетної передачі даних GPRS, за допомогою модему зв'язку GSM 2, в стаціонарний центр обробки даних 1. Зареєстровані низькочастотними тривимірними вимірювальними станціями 5 вимірювальні дані у вигляді низькочастотного сейсмічного шуму Dn . cz . У часових вікнах, найкраще тривалістю 30 с, підлягають обробці із застосуванням методу сейсмічної інтерферометри. У свою чергу, генеровані гірською розробкою сейсмічні поштовхи Dw . cz ., зареєстровані низькочастотними тривимірними вимірювальними станціями 5, обробляються за методом пасивної сейсмічної томографії з використанням для цієї мети автоматично визначеного часу проходу сейсмічної хвилі вздовж трас сейсмічних променів від місця виникнення поштовхів W до місця їх реєстрації на поверхні низькочастотними тривимірними вимірювальними станціями і на цій основі складаються для даної ділянки гірського масиву 7 ізолінії швидкості поздовжньої та поперечної хвилі, які відображають стан відносних змін напружень $\Delta N P$ в шарах над шахтними виробками B , розташованими над досліджуваною ділянкою гірського масиву 7.

При цьому, в момент виникнення поштовху W , з метою автоматичного визначення часу проходу сейсмічної хвилі вздовж трас сейсмічних променів, необхідного для визначення швидкості поширення хвилі в цих напрямках, відбувається кореляція параметрів локалізації координат X , Y і Z і розрахованого часу T_0 в осередку гірського поштовху W з часом T_r вступу поздовжньої хвилі, що реєструється записами низькочастотних тривимірних вимірювальних станцій 5 на поверхні шахти A . Крім того, з метою забезпечення можливості додатково застосовувати метод просторової пасивної сейсмічної амплітудної томографії, також ідентифікують відносні зміни напружень, після ідентифікації низькочастотними тривимірними вимірювальними станціями 5 появи запису сигналу поштовху, визначається автоматично час наростання сигналу з моменту T_r вступу поздовжньої хвилі, викликаного поштовхом, до першого максимального значення реєстрованого сигналу. У методі сейсмічної інтерферометри використовуються поверхневі хвилі, які несуть інформацію про пристрій та властивості геологічного середовища, подані у вигляді графіків дисперсії.

Обробка в стаціонарному центрі обробки даних 1 охоплює: контроль якості даних шляхом усунення тенденцій та помилок записів, фільтрацію поверхневих хвиль в діапазоні від 0,2 Гц до 15 Гц, однобітову нормалізацію, кореляцію даних для кожної пари вимірювальних станцій, відбір корелограм з найкращим відношенням корисного сигналу до рівня шуму, ідентифікацію кривих дисперсії фазової швидкості хвиль Релея, інверсію графіків дисперсії на моделі 1D швидкості поперечної хвилі, складання моделі 2D поля швидкостей поперечної хвилі, а при використанні даних з багатьох вимірювальних профільних ліній "k" низькочастотних тривимірних вимірювальних станцій 5 - складання моделі 3D поля швидкостей поперечної хвилі. Програмне забезпечення дозволяє виконувати вимірювання та обробку їх результатів у поточному порядку, з використанням методів сейсмічної інтерферометри, для потреб якої розроблено відповідні алгоритми та програмне забезпечення. У результаті обробки отримують просторове зображення контрольованого простору у вигляді ізоліній швидкості поширення поперечної хвилі. Для розпушених ділянок, з більш низькими значеннями напружень спостерігається зменшення амплітуд швидкості поперечної хвилі, а для більш щільних ділянок, з більш високими значеннями напружень - збільшення амплітуд.

У способі, що є предметом винаходу, локалізовані шахтні поштовхи з відомими координатами X , Y , Z та розрахованим часом T_0 в осередку, а також ідентифікований час T_r вступу генерованої ними хвилі в записах вимірювальних станцій 5, розташованих у вузлах вимірювальної мережі P на поверхні шахти, використовуються для просторової пасивної сейсмічної швидкісної або амплітудної томографії. Результати цієї томографії доповнюють низькочастотну томографію та після корелювання отриманих томографічних карт збільшують достовірність аналізу. У свою чергу, реалізується просторовий розподіл швидкостей поширення поперечних хвиль уздовж окремих профільних ліній "k", з усереднених карт низькочастотної томографії, отриманих за методом сейсмічної інтерферометри на основі реєстрованого на

поверхні низькочастотного шуму, а також реалізується просторовий розподіл швидкості поширення поздовжніх хвиль, одержуваний шляхом застосування пасивної сейсмічної швидкісної і/або амплітудної томографії, що використовує гірські поштовхи W, яка відображає стан відносних змін напружень ΔN в шарах досліджуваної ділянки гірського масиву 7 над шахтними виробками В.

Потім відносні зміни напружень ΔNP піддають в стаціонарному центрі обробки даних 1 поточному порівняльному аналізу, зіставляючи з прийнятими пороговими допустимими відносними змінами напружень ΔNP_{gr} для досліджуваної ділянки гірського масиву 7 і в разі збільшення вимірюваних в поточному порядку відносних змін напружень ΔNP вище порогових значень, тобто коли $\Delta NP \geq \Delta NP_{gr}$, відбувається сигналізація та передача просторового результату обох томографій, а також усередненої томографії з центру обробки даних 1, в центральну станцію шахтної сейсмічної системи 10, де в підключеному до неї візуалізаційно-сигналізаційному модулі 11 реалізується візуалізація досліджуваних відносних змін напружень ΔNP .

У схемі (Фіг. 1, Фіг. 2), що є предметом винаходу, стаціонарний центр обробки даних 1 з'єднаний мережею безпроводного зв'язку WiFi за допомогою модемів GSM 2 з мобільним реєстратором вимірювальних даних 3 і отже, за допомогою двох автономних точок доступу WiFi в конфігурації Mesh, з цифровими виходами сорока стаціонарних низькочастотних тривимірних вимірювальних станцій 5, згрупованих у п'ять вимірювальних панелей 6, розташованих уздовж профільних ліній "к".

Число вимірювальних вузлів 3 вимірювальної мережі, в якій встановлені низькочастотні тривимірні вимірювальні станції 5 (SP), а також число вимірювальних панелей 6-6к, розміщуваних над досліджуваною ділянкою гірського масиву 7, визначається кожного разу залежно від розмірів цієї ділянки. При цьому низькочастотні тривимірні вимірювальні станції 5 розміщуються в ґрунті і живляться від блоку живлення постійного струму 8 за допомогою захищених громовідвідними пристроями підземних телетехнічних кабельних ліній. Кожна з низькочастотних тривимірних вимірювальних станцій 5 обладнана низькочастотними тривимірними сейсмічними датчиками 5а, які з'єднані за допомогою аналого-цифрового перетворювача 5b з мікропроцесором 5с з внутрішньою енергонезалежною пам'яттю 5d великої ємності. Мікропроцесор 5с з'єднаний з акумулятором 5е та через автоматичний зарядний пристрій 5f з блоком живлення постійного струму 8 і годинниками GPS. У свою чергу стаціонарний центр обробки даних 1 з'єднаний також мережею типу ETHERNET 9 з центральною станцією шахтної сейсмічної системи 10, обладнаної годинниками GPS, а також візуалізаційно-сигналізаційним модулем 11. У свою чергу центральна станція шахтної сейсмічної системи 10 за допомогою іскробезпечної схеми цифрової передачі даних 12 з'єднана шахтною телетрансмісійною мережею зв'язку 13 з цифровими виходами підземних сейсмометричних станцій 14 та з сейсмічними геофонними станціями 15. Низькочастотні тривимірні вимірювальні станції 5 реєструють безперервно, синхронно з часом годинників GPS, вимірювальні дані з низькочастотних тривимірних сейсмічних датчиків 5а у вигляді низькочастотного сейсмічного шуму ($Dn, cz.$) після його перетворення мікропроцесором 5с з аналого-цифровим перетворювачем 5b в цифрову величину і реєструють у своїй внутрішній незалежній пам'яті 5d великої ємності. Потім низькочастотні тривимірні вимірювальні станції 5 передають зазначені вище вимірювальні дані на відстань до кількох сотень метрів за допомогою автономних точок доступу WiFi 4, що збільшують радіус передачі, в мобільний реєстратор вимірювальних даних 3, де вони зберігаються і звідки періодично або безперервно передаються, найкраще за допомогою модему зв'язку GSM 2 або, альтернативно, провідною мережею Інтернет в стаціонарний центр обробки даних 1.

Список позначень:

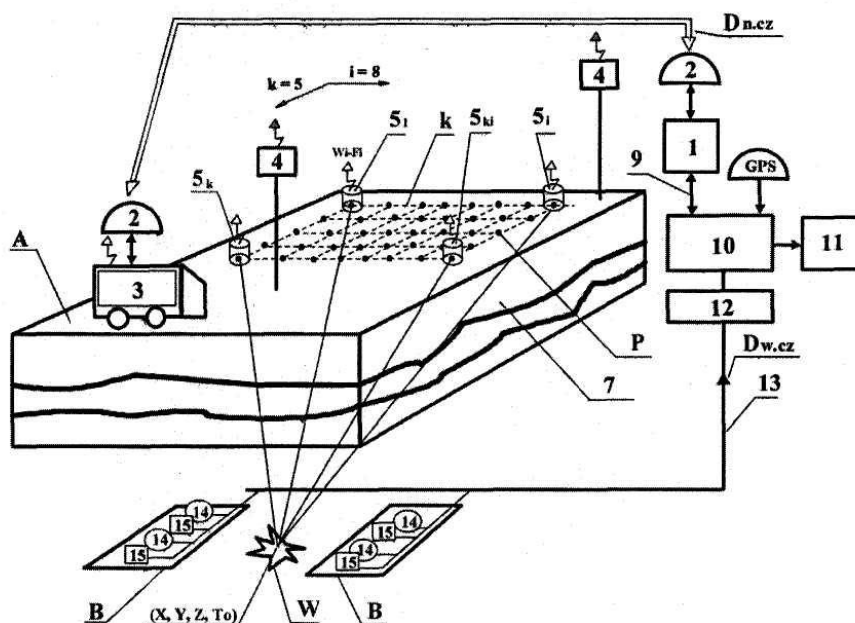
- 1 (CP) - стаціонарний центр обробки даних,
- 2 (MGSM) - модем зв'язку GSM,
- 3 (MR) - мобільний реєстратор вимірювальних даних,
- 4 (AP) - автономні точки доступу WiFi,
- 5 (SP) - низькочастотні тривимірні вимірювальні станції,
- 5а (CZ) - низькочастотний тривимірний сейсмічний датчик,
- 5b (AC) - аналого-цифровий перетворювач,
- 5с (MK) - мікропроцесор,
- 5d (FL) - внутрішня незалежна пам'ять (флеш-пам'ять),
- 5е (AK) - акумулятор,
- 5f (LD) - автоматичний зарядний пристрій,
- 6 (PP) - вимірювальна панель,

- 6_k - вимірювальна панель у профільній лінії "k", з вимірювальними станціями,
 7 (OG) - досліджувана ділянка гірського масиву,
 8 (ZC) - блок живлення постійного струму,
 9 (ET) - мережа типу ETHERNET
 5 10 (KS) - центральна станція шахтної сейсмічної системи,
 11 (MW) - візуалізаційно-сигналізаційний модуль,
 12 (IT) - схема іскробезпечної цифрової передачі,
 13 (RT) - шахтна телетрансмісійна мережа,
 14 (S) - сейсмічні сейсмометричні станції,
 10 15 (G) - сейсмічні геофонні станції,
 P - вузол вимірювальної сітки,
 A - поверхня шахти,
 B - гірничі виробки,
 W - гірський поштовх,
 15 WI-FI - система безпроводного зв'язку,
 GPS - годинник GPS,
 k - профільні лінії,
 To - час виникнення гірського поштовху в його осередку,
 Tr - час вступу хвилі P, в записах вимірювальних станцій,
 20 Dn. cz. - низькочастотний сейсмічний шум,
 Dw. cz. - високочастотні сейсмічні поштовхи, що генеруються гірськими розробками.

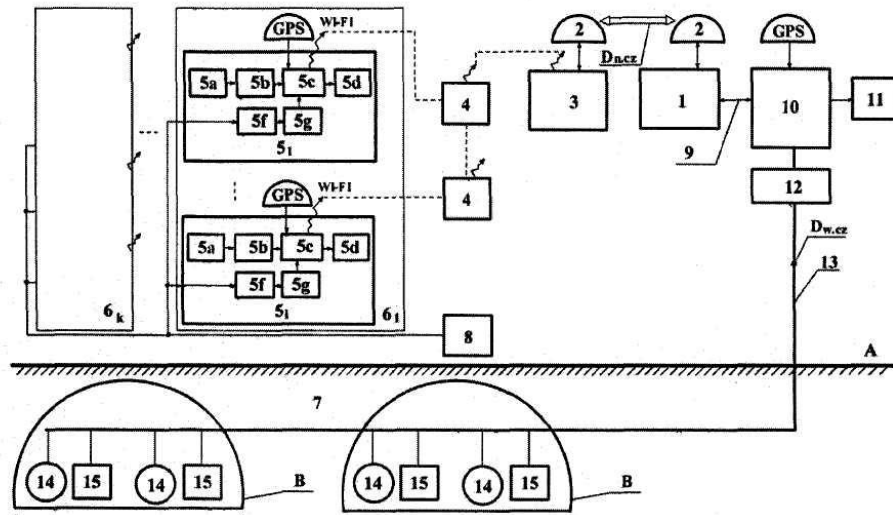
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 25 1. Спосіб аналізу геологічної структури та відносних змін напружень у шарах, розташованих над
 гірничими виробками підземної шахти, що полягає у вимірюванні властивостей структури цих
 шарів за методом сейсмічної інтерферометрії шляхом тривимірної реєстрації сейсмічного шуму
 з використанням встановлених на поверхні над досліджуваною ділянкою гірського масиву
 30 автономних низькочастотних вимірювальних станцій по коливаннях гірського масиву та
 передачі цих даних до мобільного реєстратора вимірювальних даних, який **відрізняється** тим,
 що в стаціонарний центр обробки даних (1) передаються дані з мобільного реєстратора
 вимірювальних даних (3), а також з центральної станції шахтної сейсмічної системи (10),
 одержувані внаслідок тісно корельованих за часом реєстрації низькочастотного сейсмічного
 шуму (Dn. cz.) з поверхневої системи, а також сейсмічних поштовхів, що генеруються гірничими
 35 розробками (Dw. cz.), а потім зареєстровані вимірювальні дані в часових вікнах, найкраще
 тривалістю 30 с, у вигляді тривимірних записів низькочастотного сейсмічного шуму (Dn. cz.) і
 сейсмічних поштовхів, що генеруються гірничими розробками (Dw. cz.), підлягають обробці із
 застосуванням методу сейсмічної інтерферометрії для записів шуму, а також пасивної
 сейсмічної швидкісної і/або амплітудної томографії для записів сейсмічних поштовхів, і на цій
 40 основі визначаються для даної ділянки гірського масиву (7) ізолінії швидкості поперечної хвилі,
 а також ізолінії швидкості і/або загасання поздовжньої хвилі за методом пасивної сейсмічної
 швидкісної і/або амплітудної томографії, які в кінцевому підсумку відображають усереднений
 стан відносних змін напружень (ΔNP) в шарах, розташованих над гірничими виробками (B),
 причому в момент виникнення гірського поштовху (W) відбувається кореляція параметрів
 45 локалізації координат (X, Y, Z) і розрахованого часу (T_o) його виникнення в осередку з часом
 вступів (T_r) генерованої ним поздовжньої хвилі, в записах низькочастотних тривимірних
 вимірювальних станцій (5), що реєструються на поверхні шахти, а також відповідних їм величин
 часу наростання сигналу від вступу поздовжньої хвилі до моменту досягнення сигналом, що
 реєструється, запису поштовху (W) першого максимуму в кожній вимірювальній станції (5).
 50 2. Спосіб, згідно з пунктом 1, який **відрізняється** тим, що стан відносних змін напружень (ΔNP)
 в шарах досліджуваної ділянки гірського масиву (7) над шахтними виробками (WK) піддається
 поточному порівняльному аналізу в стаціонарному центрі обробки даних (1) з прийнятими
 пороговими допустимими змінами напружень (ΔNP_{gr}) для досліджуваної ділянки гірського
 масиву (7) і в разі збільшення вимірюваних у поточному порядку відносних змін напружень
 55 (ΔNP) вище порогового значення ($\Delta NP \geq \Delta NP_{gr}$) відбувається сигналізація місць, в яких виник
 такий стан, а потім реалізується передача просторового результату томографії, виконаної за
 методом сейсмічної інтерферометрії, а також усередненої томографії зі стаціонарного центру
 обробки даних (1) в центральну станцію шахтної сейсмічної системи (10), де візуалізаційно-
 сигналізаційним модулем виконується візуалізація досліджуваних відносних змін напружень
 60 (ΔNP).

3. Схема для аналізу геологічної структури та відносних змін напружень в шарах, розташованих над гірничими виробками підземної шахти, що складається зі стаціонарного центру обробки даних, поєднаного безпроводним зв'язком з модулем мобільної реєстрації вимірювальних даних та послідовно через автономні точки доступу WiFi з низькочастотними тривимірними вимірювальними станціями, причому низькочастотні вимірювальні станції обладнані низькочастотними тривимірними сейсмічними датчиками, з'єднаними за допомогою аналого-цифрового перетворювача з мікропроцесором з внутрішньою енергонезалежною пам'яттю великої ємності, а також обладнані приймачем GPS, схемою бездротового зв'язку, а також живильним акумулятором, призначена для застосування способу, описаного в пунктах 1 і 2 формули винаходу, яка **відрізняється** тим, що стаціонарний центр обробки даних (1) з'єднаний з одного боку, краще всього через модем зв'язку GSM (2), з мобільним реєстратором (3) вимірювальних даних, а з іншого боку з центральною станцією шахтної сейсмічної системи (10), яка з'єднана з годинником (GPS) та з візуалізаційно-сигналізаційним модулем (11), а також за допомогою схеми іскробезпечної цифрової передачі (12) та шахтної телетрансмісійної мережі (13) з не менш ніж чотирма підземними сейсмічними геофонними станціями (15).



Фиг.1 Представлена, у спрощеному вигляді, вимірювальна схема, разом з взаємним розташуванням її блоків на поверхні та в підземній частині шахти, в аксонометричному зображенні



Фіг.2 Блок-схема вимірювальної схеми