

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

E21D 5/04 (2025.05); G01N 33/38 (2025.05); G01N 21/88 (2025.05)

(21)(22) Заявка: 2024139802, 26.12.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.12.2024Дата регистрации:
04.08.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.12.2024

(45) Опубликовано: 04.08.2025 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, ФГАОУ
ВО НИУ "БелГУ", Токтарева Татьяна
Михайловна

(72) Автор(ы):

Яцыняк Сергей Дмитриевич (RU),
Ермолович Елена Ахмедовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2314417 C1, 10.01.2008. SU
1288302 A1, 07.02.1987. GB 1367104 A, 18.09.1974.
CN 115164816 A, 11.10.2022. CN 118532176 A,
23.08.2024. ЕРМОЛОВИЧ Е.А. и др.
Геомеханическое обследование
воздухоподающего ствола рудника
"Таймырский". Ж: Известия ТулГУ. Науки о
земле. 2022. Вып.4, с. 419-435.(54) КОМПЛЕКСНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В
БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ И МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

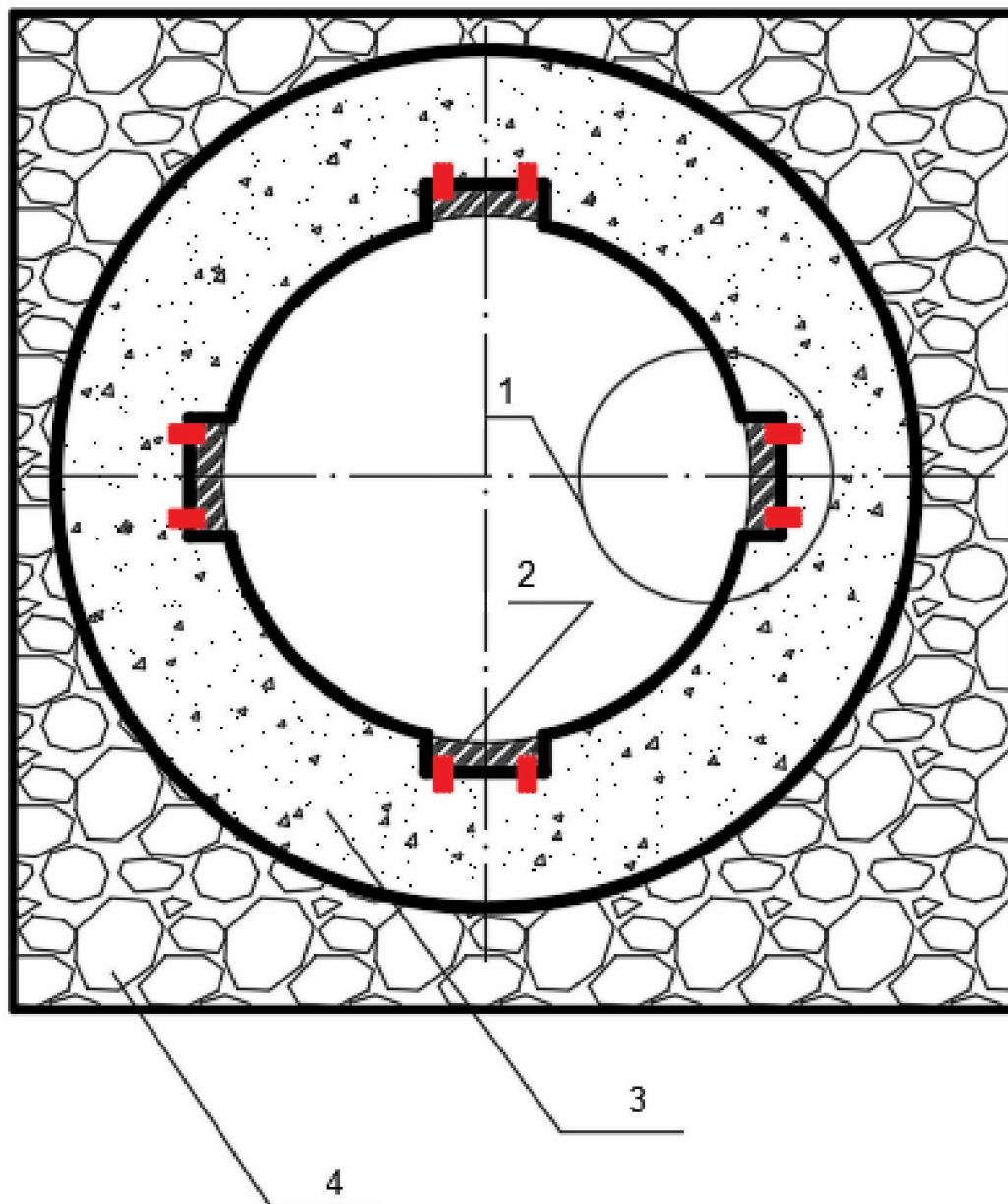
(57) Реферат:

Изобретение относится к горной геомеханике и может быть использовано для определения основных деформационных характеристик бетонной крепи и массива горных пород. Способ заключается в периодических измерениях во времени деформаций в бетонной крепи вертикальных стволов на контролируемом участке выработки. Определение первоначальных напряжений бетонной крепи на каждой отметке исследования осуществляют при помощи метода щелевой разгрузки. Далее определяют величины и направления смещения замерных точек за промежуток времени между измерениями, для чего используют замерные и реперные станции, которые размещают в бетонной крепи на каждой отметке исследования. Для установки замерных станций в стенке бетонной крепи на каждой отметке исследования формируют по 4 Г-

образные ниши. В каждой нише в стенке бетонной крепи ствола пробуривают отверстия в вертикальном и горизонтальном направлении относительно вертикальной оси ствола для установки замерных точек в виде репер-маяков, выполненных в виде металлических устойчивых к коррозии цилиндрических роликов. Снятие показаний вертикальных и горизонтальных смещений репер-маяков замерных станций осуществляют вручную на каждой отметке исследования, с использованием механического тензометра. В горизонтальной плоскости ствола на каждой отметке исследования устанавливают реперную станцию, включающую четыре замерные точки в виде металлических анкер-реперов, выполненных с возможностью вкручивания в них съёмных реперов, что позволяет сформировать две главные

наблюдательные линии, которые располагаются перпендикулярно относительно друг друга по главным осям ствола. На реперных станциях измерение расстояний между замерными точками в виде металлических анкер-реперов производят с помощью ленточного экстензометра или высокоточного геодезического оборудования. Далее при проведении периодического или внештатного мониторинга бетонной крепи вертикального ствола при каждом измерении определяют расчетным путем величины деформаций из величин смещения замерных точек в виде репер-маяков на замерных станциях и измеряемых расстояний между замерными

точками в виде анкер-реперов на реперных станциях на каждой отметке исследования относительно начальных измерений и определяют действующие относительные деформации и действующие напряжения в бетонной крепи ствола и массиве горных пород. Техническим результатом является получение достоверных значений, позволяющих своевременно делать выводы о напряженно-деформированном состоянии бетонной крепи ствола, выявить причины роста напряжений в крепи во времени и принять своевременные меры для предотвращения разрушения крепи. 3 ил., 2 табл.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

E21D 5/04 (2025.05); G01N 33/38 (2025.05); G01N 21/88 (2025.05)(21)(22) Application: **2024139802, 26.12.2024**(24) Effective date for property rights:
26.12.2024Registration date:
04.08.2025

Priority:

(22) Date of filing: **26.12.2024**(45) Date of publication: **04.08.2025** Bull. № 22

Mail address:

**308015, g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, FGAOU VO
NIU "BelGU", Toktareva Tatyana Mikhajlovna**

(72) Inventor(s):

**Iatsyniak Sergei Dmitrievich (RU),
Ermolovich Elena Akhmedovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia "Belgorodskii gosudarstvennyi
natsionalnyi issledovatel'skii universitet" (NIU
"BelGU") (RU)**(54) **INTEGRATED METHOD FOR DETERMINING DEFORMATION PROCESSES IN CONCRETE SUPPORT OF VERTICAL SHAFTS AND ROCK MASSIF**

(57) Abstract:

FIELD: mining; measuring.

SUBSTANCE: invention relates to mining geomechanics and can be used to determine main deformation characteristics of concrete support and rock massif. Method consists in periodic measurements in time of deformations in a concrete support of vertical shafts on a controlled section of a mine working. Determination of initial stresses of concrete support at each elevation of investigation is carried out by means of slot unloading method. Further, values and directions of offset of measurement points are determined for a time interval between measurements; for this purpose, measurement and reference stations are used, which are arranged in a concrete support at each survey mark. For installation of measurement stations in the wall of the concrete support at each survey elevation there formed are 4 L-shaped niches. In each niche in the shaft concrete support wall there drilled are holes in vertical and horizontal directions relative to the shaft vertical axis for installation of measuring points in the form of reference beacons made in the form of metal corrosion-resistant cylindrical rollers. Readings of vertical and horizontal displacements of reference beacons of

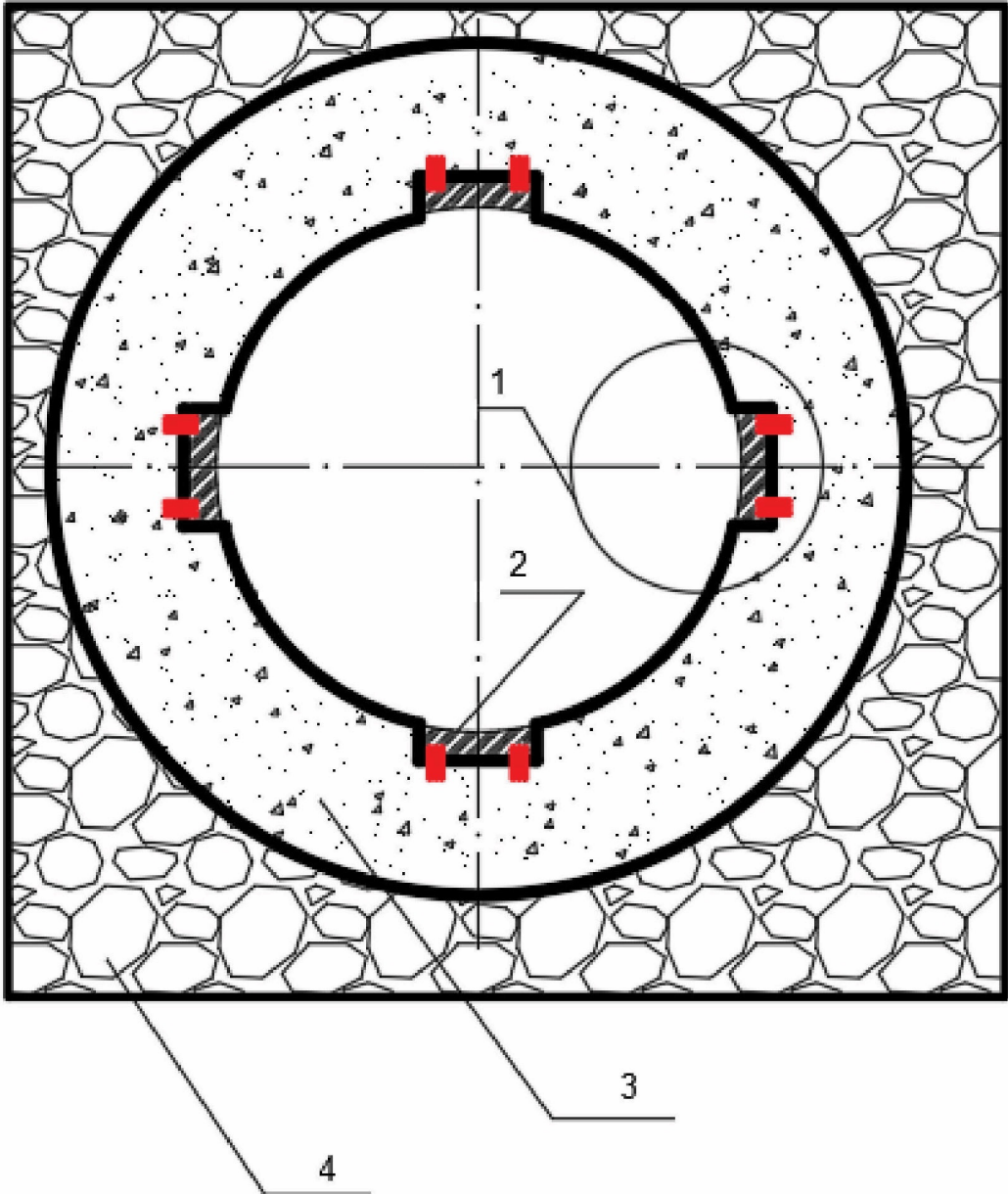
measurement stations are performed manually at each survey elevation using a mechanical strain gauge. In the horizontal plane of the shaft at each survey mark, a reference station is installed, which includes four measuring points in the form of metal anchor-benchmarks, made with the possibility of screwing removable reference points therein, which allows to form two main observation lines that are perpendicular to each other along the main axes of the shaft. At reference stations, measurement of distances between measuring points in the form of metal anchor-reference points is performed by means of a belt extensometer or high-precision geodetic equipment. Further, during periodic or freelance monitoring of the concrete support of the vertical shaft, for each measurement, determining by calculation the deformation values from the displacement values of the measurement points in the form of reference beacons at the measurement stations and measured distances between measurement points in form of anchor-reference points at reference stations at each elevation of study relative to initial measurements and determining the existing relative deformations and the existing stresses in the concrete

support of the shaft and in the rock massif.

EFFECT: obtaining reliable values allowing to draw conclusions on stress-strain state of concrete shaft support in due time, to identify reasons of stress growth

in the support in time and to take timely measures to prevent destruction of the support.

1 cl, 3 dwg, 2 tbl



Фиг.1

Изобретение относится к горной геомеханике и может быть использовано для определения основных деформационных характеристик бетонной крепи и массива горных пород.

Известен способ определения напряжений по деформациям, замеренным по глубинным реперам (Петухов И.М., Егоров П.В., Винокур Б.Ш. Предотвращение горных ударов на рудниках. М.: Недра, 1984, с. 64-65). Сущность метода глубинных реперов заключается в том, что в пробуренные из горных выработок скважины диаметром от 42 до 110 мм с помощью досылочных устройств вводятся реперы и закрепляются тем или иным способом в породах на нужном расстоянии от устья скважины. По изменению смещения реперов или расстояния между соседними реперами вдоль оси скважины судят о перемещениях точек массива или деформациях соответствующих интервалов. Станция глубинных реперов состоит из трех основных элементов: собственно, глубинных реперов (закрепляются в скважине), отсчетного (регистрирующего) устройства, системы связи между реперами и отсчетным устройством. Для оценки напряжений по деформациям, замеренных по глубинным реперам, в случае плоской задачи теории упругости, достаточно иметь два компонента деформаций, т.е. бурить скважины с глубинными реперами во взаимно перпендикулярных направлениях, близких к предполагаемым направлениям действия главных напряжений. В случае пространственной задачи - в трех перпендикулярных направлениях. Расчет напряжений ведется по формулам теории упругости. Изучение свойств пород массива в данном способе осуществляется через определение напряженно-деформированного состояния массива горных пород с использованием аппарата формул теории упругости, в котором используются уже ранее определенные деформационные характеристики пород, т.е. модуль деформаций и коэффициент поперечной деформации. Кроме того, способ глубинных реперов трудоемок по своей реализации и дорогостоящ.

Известно устройство для измерения деформаций на стенках горной выработки методом частичной разгрузки на больших базах по патенту RU 2314417 C1, 10.01.2008, способ применения которого обеспечивает повышение надежности работы, уменьшение трудоемкости и повышение точности измерения деформаций. Устройство включает маркшейдерскую рулетку с передвижным нониусом, блок натяжения рулетки, съемные реперы с крючьями для зацепления рулетки. Реперы выполнены в виде двух разъемных металлических клиньев, на направляющей стороне первого металлического клина репера установлен конусный стопор, состоящий из конуса, пружины и резьбовой пробки, а в другом металлическом клине на всю длину выполнено отверстие с резьбой для крючка зацепления рулетки, со стороны крючка у основания приварены две металлические пластины, а на наружное резьбовое основание надета резиновая трубка. Для осуществления способа выбуривают шпур непосредственно у забоя выработки на ее контуре глубиной 150-200 мм и диаметром до 45 мм под съемные реперы с крючьями для зацепления рулетки, с помощью натяжения маркшейдерской рулетки через блок натяжения рулетки силой 60 Н и передвижного нониуса производят замеры деформаций: первый замер до взрыва по измерительным линиям в трех направлениях - два взаимоперпендикулярных (I-I и III-III) и одно под 45 градусов к ним (II-II), оставляют все съемные реперы с крючьями для зацепления рулетки в шпуре, после взрыва в такой же последовательности производят второй замер. Затем из шпура удаляют съемные реперы. По разнице между начальным и конечным показателями по каждому направлению определяют соответствующие смещения контура горной выработки в измеренном направлении.

Известен способ контроля состояния горных выработок по патенту RU 2479718 C2,

20.04.2013, включающий периодические измерения во времени смещений приконтурных пород на контролируемом участке выработки с помощью измерительных элементов в виде замерных точек, нанесенных на поверхность по контуру горной выработки, относительно базового элемента, фиксирование полученных результатов при первом
 5 измерении, использование их в качестве контрольных значений отсчета смещения пород относительно базового элемента при последующих измерениях, определение величины и направления смещения замерных точек за промежуток времени между измерениями и суждение по ним о состоянии приконтурных пород вокруг выработки, отличием которого, согласно изобретению, является то, что в качестве базового элемента в
 10 горной выработке в прямой видимости всех контролируемых замерных точек устанавливают репер и фиксируют координаты его установки, на репере закрепляют генератор лазерного луча, лазерный луч которого первоначально ориентируют в горизонтальной плоскости вдоль горной выработки и фиксируют его положение, затем изменяют угол наклона лазерного луча и совмещают его с замерной точкой, измеряют
 15 длину лазерного луча и угол его наклона к зафиксированному положению и используют их в качестве контрольных значений при последующих измерениях, в случае наличия расхождения результатов с контрольными измерениями определяют величину и направление смещения замерной точки за промежуток времени между измерениями из уравнения:

$$h = L_K \cdot \sin \alpha_K \cdot L_3 \cdot \sin \alpha_3, \text{ м,}$$

где L_K - контрольное значение расстояния до нанесенной точки, м,

α_K - контрольное значение угла наклона лазерного луча, совмещенного с замерной точкой к его горизонтальному положению, град.,

25 L_3 - значение расстояния до нанесенной точки, повторно измеренное через заданный временной интервал, м,

α_3 - значение угла наклона лазерного луча, совмещенного с замерной точкой, к его горизонтальному положению, повторно измеренное через заданный временной интервал, град.,

30 h - абсолютная величина смещения участка с нанесенной замерной точкой, м.

Недостаток известного решения заключается в том, что его невозможно использовать для определения деформационных процессов в бетонной крепи вертикальных стволов.

Известен способ комплексной оценки состояния бетонной крепи шахтных стволов по патенту RU 2829468 C1, 2024.10.30, включающий визуальное обследование
 35 поверхности крепи с измерением размеров трещин, площади вывалов и коррозионных участков, лазерное сканирование потенциально опасного участка бетонной крепи с целью определения конвергенции диаметра бетонной крепи по нескольким направлениям, вычисление окружной деформации крепи, отличающийся тем, что определяют категорию текущего состояния потенциально опасного участка бетонной
 40 крепи в зависимости от величины окружной деформации, при этом в случае относительного уменьшения диаметра крепи ствола более 2% на данном участке крепи проводят срочные ремонтные работы, а при относительном уменьшении диаметра крепи ствола менее 1,5% методами численного моделирования вычисляют скорость конвергенции диаметра крепи для оценки роста разрушения крепи во времени, после
 45 чего делают заключение о сроках проведения ремонтных работ на данном участке крепи.

Недостаток заключается в том, что способ применим только в случае уже выявленных потенциально опасных участков бетонной крепи.

Известен способ измерения нагруженности крепи вертикального ствола по авторскому свидетельству SU 1288302 A1, 07.02.1987), относящийся к горному делу и предназначенный для опытно-промышленных испытаний крепи и исследований проявлений горного давления на крепь. Цель изобретения - сокращение сроков измерений. В ствол опускают опалубку и заполняют пространство между опалубкой и породными стенками бетоном. В момент схватывания бетонной смеси определяют окружные и вертикальные деформации бетона. После схватывания бетона продолжают измерения деформаций. Затем отрывают опалубку и снимают показания приборов. По их данным находят максимальную величину интенсивности деформации в момент отрыва опалубки и в момент окончания схватывания бетона. Определяют показатель оценки деформаций посредством вычисления разности интенсивностей деформаций в момент отрыва опалубки и окончания схватывания бетона.

Недостаток заключается в том, что он применим только при сооружении стволов.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка комплексного способа определения деформационных процессов в бетонной крепи вертикальных стволов и массива горных пород, позволяющего получать более достоверные, надежные результаты измерений.

Технический результат изобретения состоит в возможности получения более достоверных значений действующих напряжений на бетонную крепь ствола и массива горных пород за счет использования комплекса наблюдательных станций разного типа, что позволяет своевременно сделать выводы о напряженном-деформированном состоянии бетонной крепи ствола, выявить причины роста напряжений в крепи во времени, и принять своевременные меры для предотвращения разрушения крепи.

Поставленная задача решается с помощью предложенного способа, включающего периодические измерения во времени деформаций в бетонной крепи вертикальных стволов на контролируемом участке выработки, при этом определение первоначальных напряжений бетонной крепи на каждой отметке исследования осуществляют при помощи метода щелевой разгрузки, далее определяют величины и направления смещения замерных точек за промежуток времени между измерениями, для чего используют замерные и реперные станции, которые размещают в бетонной крепи на каждой отметке исследования, причём:

- для установки замерных станций в стенке бетонной крепи на каждой отметке исследования формируют по 4 Г-образные ниши, снабженные металлическим кожухом для защиты замерных точек от механических повреждений;

- в каждой нише в стенке бетонной крепи ствола пробуривают отверстия в вертикальном и горизонтальном направлении относительно вертикальной оси ствола для установки замерных точек в виде репер-маяков, выполненных в виде металлических, устойчивых к коррозии, цилиндрических роликов;

- снятие показаний вертикальных и горизонтальных смещений репер-маяков замерных станций осуществляют вручную на каждой отметке исследования, с использованием механического тензометра;

- кроме того, в горизонтальной плоскости ствола на каждой отметке исследования устанавливают реперную станцию, включающую четыре замерные точки в виде металлических анкер-реперов Rp I, Rp II, Rp III и Rp IV, выполненных с возможностью вкручивания в них съёмных реперов, для чего предварительно пробуривают 4 шпура для установки в них металлических анкер-реперов, что позволяет сформировать две главные наблюдательные линии Rp I - Rp III и Rp II - Rp IV, которые располагаются перпендикулярно относительно друг друга по главным осям ствола, что даёт

возможность определять деформации и вычислять напряжения бетонной крепи ствола в плоской постановке в разных направлениях с дальнейшим анализом действующих напряжений на бетонную крепь ствола. Съёмный репер накручивают при каждом измерении. Измерения расстояний между металлическими анкер-реперами производят с помощью ленточного экстензометра с точностью до 0,01 мм или высокоточного геодезического оборудования. После производства измерений, съёмный репер выкручивают и соединительное отверстие закрывают болтом для сохранности соединения от механического и химического повреждения между измерениями. Далее при проведении периодического или внештатного мониторинга бетонной крепи вертикального ствола при каждом измерении определяют расчетным путем величины деформаций из величин смещения замерных точек в виде репер-маяков на замерных станциях и измеряемых расстояний между замерными точками в виде анкер-реперов на реперных станциях на каждой отметке исследования относительно начальных измерений и определяют действующие относительные деформации и действующие напряжения на бетонную крепь ствола и массива горных пород. Что позволяет своевременно сделать выводы о напряженно-деформированном состоянии бетонной крепи ствола, выявить причины роста напряжений в бетонной крепи во времени, и принять своевременные меры для предотвращения разрушения крепи.

Перечисленные признаки предложенного комплексного способа наблюдений существенно улучшают возможность получения надежных и достоверных данных, что обеспечивает своевременный контроль за происходящими процессами в бетонной крепи вертикального ствола и массива горных пород.

Предлагаемый способ комплексного способа измерений деформаций для определения деформационных процессов на каждой отметке в бетонной крепи вертикальных стволов исследования позволяет:

- измерять деформации, действующие в бетонной крепи ствола в вертикальных и горизонтальных направлениях посредством определения смещения репер-маяков на замерных станциях;
- производить измерения смещений стенок бетонной крепи ствола по осям исследуемого ствола посредством установленных анкер-реперов на реперной станции;
- обеспечивать долговременность наблюдения за состоянием бетонной крепи ствола за счёт возможности консервации реперных и замерных станций после каждой серии наблюдений, что даёт возможность получать более достоверные измерения при проведении периодического или внештатного мониторинга бетонной крепи вертикального ствола и массива горных пород.

Сущность изобретения поясняется чертежами.

Фиг. 1. Схема установки замерной станции на отметке исследования контролируемого участка выработки бетонной крепи ствола, где 1 - замерная станция, 2 - Г-образная ниша для установки замерных точек в виде реперов-маяков, 3 - бетонная крепь ствола, 4 - массив горных пород.

Фиг. 2 - Схема размещения репер-маяков в защитной нише, где 2 - Г-образная ниша для установки реперов-маяков, 3 - бетонная крепь ствола, 5 - репер-маяки.

Фиг. 3 - Схема установки и расположения замерных точек в виде анкер-реперов R_p I, R_p II, R_p III и R_p IV на реперных станциях, где

3 - бетонная крепь ствола, 4 - породный массив, 6 - измеряемые расстояния между анкер-реперами.

Предлагаемый способ реализуют следующим образом.

В вертикальных стволах на контролируемом участке выработки, где предполагается

определять устойчивость по деформационным процессам в бетонной крепи 3, выбирают отметки исследования в интервалах характерных типов пород, в которых установлена бетонная крепь. Определяют первоначальные напряжения бетонной крепи на каждой отметке исследования при помощи метода щелевой разгрузки. Затем в стенки бетонной

5 крепи 3 вертикального ствола на каждой отметке исследования по контуру закладывают по 4 комплексные замерные станции 1. Для чего сначала в стенке бетонной крепи 3 на каждой отметке исследования формируют по 4 ниши 2 глубиной 40 мм, снабженные для защиты замерных станций от механических повреждений металлическим кожухом. На замерных станциях 1 в каждой нише 2 в стенке ствола бетонной крепи 3 в

10 вертикальном и горизонтальном направлении относительно вертикальной оси ствола пробуривают 9 отверстий диаметром 6 мм и глубиной 40 мм на расстоянии между ними 300 мм для размещения замерных точек в виде репер-маяков 5, выполненных в виде металлических, устойчивых к коррозии, цилиндрических роликов диаметром 4 мм и длиной 40 мм. При этом монтаж репер-маяков 5 осуществляют путем предварительной

15 установки в пробуренные в нише 2 бетонной крепи 3 пробок из полимерного материала, что позволяет жестко зафиксировать металлический репер-маяк 5 посредством распора. Формирование трех пар замерных точек по горизонтали и трех пар замерных точек по вертикали обеспечивает надежность и возможность получения достоверных данных на каждой замерной станции даже в случае повреждения одной из пар замерных точек.

20 Снятие показаний с замерных точек замерных станций 1 осуществляют вручную, на каждой отметке исследования с использованием механического тензометра конструкции ЦНИИС с точностью до 0,01 мм.

Кроме того, в горизонтальной плоскости бетонной крепи 3 ствола на каждой отметке исследования устанавливают реперную станцию, для чего предварительно пробуривают

25 4 шпура для установки четырех замерных точек в виде анкер-реперов Rp I, Rp II, Rp III и Rp IV, выполненных с возможностью вкручивания в них съёмных реперов, что позволяет сформировать две главные наблюдательные линии Rp I - Rp III и Rp II - Rp IV, которые располагаются перпендикулярно относительно друг друга по главным осям ствола (Фиг. 3), что даёт возможность определять деформации и вычислять

30 напряжения бетонной крепи ствола в плоской постановке в разных направлениях с дальнейшим анализом действующих напряжений на крепь ствола. Съёмный репер накручивают при каждом измерении. Измерения расстояний между металлическими анкер-реперами производят с помощью ленточного экстензометра с точностью до 0,01 мм или высокоточного геодезического оборудования.

35 Далее при проведении периодического или внештатного мониторинга бетонной крепи вертикального ствола при каждом измерении снимают показатели расстояний между репер-маяками на замерных станциях и анкер-реперами на реперных станциях. После производства измерений, съёмные репера выкручивают из анкер-реперов и соединительное отверстие закрывают болтом для защиты анкер-репера на реперной

40 станции от механического и химического повреждения, а замерные станции закрывают кожухами, выполненными, например, из металла. Затем определяют расчетным путем величины деформаций из величин смещения замерных точек в виде репер-маяков на замерных станциях и измеряемых расстояний между замерными точками в виде анкер-реперов на реперных станциях на каждой отметке исследования относительно начальных

45 измерений и определяют относительные деформации между парами замерных точек ε по формуле:

$$\varepsilon = \frac{L_0 - L_n}{L_0} = \frac{\Delta L_n}{L_0}, (1)$$

где ε - относительные деформации;

L_0 - начальные измерения расстояния между реперами на замерной станции, мм;

L_n - последующие измерения расстояния между реперами на замерной станции, мм;

ΔL_n - величина смещения на замерной станции, мм.

Путем решения плоской задачи теории упругости производят пересчет полученных величин относительных деформаций ε в горизонтальные и вертикальные напряжения бетонной крепи σ_b и массива горных пород σ_m за определенный временной отрезок по формулам:

$$\sigma_{гор.(м;б)} = \frac{\varepsilon_{гор.} + \mu_{(м;б)} \cdot \varepsilon_{верт.}}{1 - \mu_{(м;б)}^2} \cdot E_{(м;б)}, \quad (2)$$

$$\sigma_{верт.(м;б)} = \frac{\varepsilon_{верт.} + \mu_{(м;б)} \cdot \varepsilon_{гор.}}{1 - \mu_{(м;б)}^2} \cdot E_{(м;б)}, \quad (3)$$

где $E_{(м; б)}$ - модуль упругости массива горных пород и бетона, МПа;

$\mu_{(м; б)}$ - коэффициент Пуассона массива горных пород или бетона;

$\varepsilon_{(гор.)}$ - горизонтальные относительные деформации в бетонной крепи и массиве горных пород.

$\varepsilon_{(верт.)}$ - вертикальные относительные деформации в бетонной крепи и массиве горных пород.

Расчет напряжений σ_b в бетонной крепи на реперных станциях производили из полученных деформаций бетонной крепи по формуле:

$$\sigma_b = \varepsilon \cdot E_b, \quad (4)$$

где σ_b - напряжение в бетонной крепи;

ε - относительные деформации в бетонной крепи, рассчитанные по формуле (1);

E_b - модуль упругости бетона, Мпа.

Напряжения в массиве горных пород вычисляют, используя осесимметричную задачу на контактный слой между бетонной крепью и горным массивом, учитывая:

1. Совместимость деформаций на границе бетонной крепи и массиве горных пород.
2. Равенство усилий на границы бетонной крепи и массиве горных пород.

Напряжения σ_m в массиве горных пород вычисляют по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_b \cdot \frac{E_m \cdot (1 - \mu_b^2)}{E_b \cdot (1 - \mu_m^2) + E_m \cdot (1 - \mu_b^2)}, \quad (5)$$

где σ_b - напряжение в бетонной крепи;

E_b, E_m - модуль упругости бетона и горного массива соответственно;

μ_b, μ_m - коэффициенты Пуассона бетона и горного массива соответственно.

Конкретный пример осуществления заявленного способа.

В стволе круглой формы диаметром 8,0 м в свету были выполнены натурные наблюдения на глубине 589 м. Породный массив на исследуемом участке представлен песчаниками. Крепь ствола монолитно-бетонная, класс бетона В15.

Физико-механические свойства бетона и песчаника:

модуль упругости песчаников - $E_m = 50000$ МПа;

коэффициент Пуассона песчаников - $\mu_m = 0,26$;

модуль упругости бетона - $E_b = 24000$ МПа;

коэффициент Пуассона бетона - $\mu_b = 0,20$.

Для установки замерных станций 1 в стенке бетонной крепи 3 на отметке исследования сформированы по 4 Г-образные ниши 2, снабженные металлическим кожухом для защиты замерных точек от механических повреждений (Фиг. 1). В каждой нише 2 в стенке бетонной крепи 3 ствола пробурили отверстия в вертикальном и горизонтальном направлении относительно вертикальной оси ствола для установки девяти замерных точек в виде репер-маяков 5, выполненных в виде металлических, устойчивых к коррозии, цилиндрических роликов. Схема размещения указанных замерных точек в защитной Г-образной нише 2 показана на Фиг. 2. Монтаж репер-маяков 5 осуществляют путем предварительной установки в пробуренные в нише 2 бетонной крепи 3 пробок из полимерного материала длиной 40 мм и диаметром 6 мм, что позволяет жестко зафиксировать металлический репер-маяк 5 посредством распора.

Кроме того, в горизонтальной плоскости бетонной крепи 3 ствола на данной отметке исследования установили реперную станцию, для чего предварительно пробурили 4 шпура для установки четырёх замерных точек в виде анкер-реперов Rp I, Rp II, Rp III и Rp IV, выполненных по патенту № 2794875, с возможностью вкручивания в них съёмных реперов, выполненных по патенту № 2761081, что позволило сформировать две главные наблюдательные линии Rp I - Rp III и Rp II - Rp IV, т.е. Север-Юг и Запад-Восток, соответственно, которые располагаются перпендикулярно относительно друг друга по главным осям ствола (Фиг. 3).

Результаты натурных наблюдений в стволе.

Натурные определения напряжений σ_x , σ_y , σ_z , действующих в бетонной крепи ствола, проводили при помощи метода щелевой разгрузки по четырем направлениям: Юг, Север, Запад, Восток. После определения начальных напряжений произвели установку замерных станций 1 и были измерены начальные расстояния L_0 между парами репер-маяков 5 в вертикальном и горизонтальном направлении. Измерения проводили с использованием механического тензометра конструкции ЦНИИС с точностью 0,01 мм.

Определили относительные деформации между парами замерных точек ϵ по формуле (1)

Путем решения плоской задачи теории упругости произвели пересчет полученных величин относительных деформаций в горизонтальные и вертикальные напряжения бетонной крепи σ_b и массива горных пород σ_m по формулам (2) и (3).

Результаты расчетов напряжения в бетонной крепи σ_b на замерных станциях приведены в таблице 1.

Таблица 1

Изменения напряжений в бетонной крепи σ_b на замерных станциях

Направление	Расположение замерной станции		Начальные напряжения в крепи σ_0 , МПа	Измерения выполнены через 90 суток		Измерения выполнены через 380 суток	
				$\epsilon \cdot 10^5$	σ_6 , МПа	$\epsilon \cdot 10^5$	σ_6 , МПа
Горизонт -589 м							
Юг	вертикальное	z	-5,5	$\pm 0,0$	-0,30	$\pm 0,0$	0,50
	горизонтальное	x	-7,6	-6,0	-1,50	-10,0	-2,50
Север	вертикальное	z	-5,5	-0,0	-0,37	$\pm 0,0$	-0,75
	горизонтальное	x	-12,6	-7,5	-1,88	-15,0	-3,75
Запад	вертикальное	z	-5,3	$\pm 0,0$	-0,25	$\pm 0,0$	-0,12
	горизонтальное	y	-6,1	-5,0	-1,25	-2,5	-0,62
Восток	вертикальное	z	-5,3	$\pm 0,0$	-0,37	-5,0	-1,90
	горизонтальное	y	-10,0	-7,5	-1,88	-12,5	-3,37

Реперные станции также были установлены на глубине 589 м в горизонтальной плоскости после определения начальных напряжений методом целевой разгрузки.

Измерены два начальных расстояния расположенные по диаметру ствола по направлениям Север-Юг и Запад-Восток, между реперами анкер-реперов Rp I - Rp III и Rp II - Rp IV, установленными в бетонной крепи ствола.

Определили относительные деформации между парами замерных точек Rp I - Rp III и Rp II - Rp IV, т.е. по направлениям Север-Юг и Запад-Восток, соответственно, по формуле (1).

Расчет напряжений по направлениям Север-Юг и Запад-Восток в бетонной крепи производили из полученных деформаций бетонной крепи по формуле (4)

Напряжения σ_M в массиве горных пород вычисляют по формуле (5), используя осесимметричную задачу на контактный слой между бетонной крепью и горным массивом.

Результаты расчетов изменений напряжений σ_M и σ_6 на реперных станциях приведены в таблице 2

Таблица 2

Изменения напряжений на реперных станциях

Направление	Реперная станция-L	Начальные измерения, мм	Измерения, мм через 90 суток	ΔL , мм	Относительные деформации $\epsilon \cdot 10^5$	Напряжение в крепи σ_6 , МПа	Напряжение в массиве σ_M , МПа	Измерения, мм через 380 суток	ΔL , мм	Относительные деформации $\epsilon \cdot 10^5$	Напряжение в крепи σ_6 , МПа	Напряжение в массиве σ_M , МПа
СЮ	$L_{(C-Y)}$	7803,20	7802,28	-0,92	-11,79	-2,83	-1,93	7802,07	-1,13	-14,48	-3,48	-2,37
ЗВ	$L_{(B-B)}$	7998,40	7997,86	-0,54	-6,75	-1,62	-1,10	7997,66	-0,74	-9,87	-2,37	-1,62

Из анализа средних значений горизонтальных напряжений в бетонной крепи,

полученных на замерных станциях через 380 суток в направлении СЮ и ЗВ, которые составляют -3,12 МПа и -2,00 МПа, соответственно, и напряжений в бетонной крепи полученных по реперным станциям по этим направлениям, составляющих -3,48 МПа и -2,37 МПа, соответственно, можно сделать вывод, что полученные напряжения двумя

А также полученные данные натурных наблюдений позволяют сделать выводы о напряженно-деформированном состоянии бетонной крепи ствола, а именно: бетонная крепь ствола работает на сжатие на исследуемом участке; прирост горизонтальных напряжений преобладает над вертикальными; увеличение горизонтальных напряжений может быть связано с ведением горных работ вблизи ствола (подработка предохранительного целика), а также влияния тектонического нарушения, пересекающего ствол на глубине 700 м.

Таким образом, заявленный способ позволяет достичь технический результат изобретения, а именно получать более достоверные значения действующих напряжений на бетонную крепь ствола и массива горных пород за счет использования комплекса наблюдательных станций разного типа, что позволяет своевременно сделать выводы о напряженно-деформированном состоянии бетонной крепи ствола, выявить причины роста напряжений в крепи во времени и принять своевременные меры для предотвращения разрушения крепи.

(57) Формула изобретения

Комплексный способ определения деформационных процессов в бетонной крепи вертикальных стволов, включающий периодические измерения во времени деформаций в бетонной крепи вертикальных стволов на контролируемом участке выработки, при этом определение первоначальных напряжений бетонной крепи на каждой отметке исследования осуществляют при помощи метода щелевой разгрузки, далее определяют величины и направления смещения замерных точек за промежуток времени между измерениями, для чего используют замерные и реперные станции, которые размещают в бетонной крепи на каждой отметке исследования, причём для установки замерных станций в стенке бетонной крепи на каждой отметке исследования формируют по 4 Г-образные ниши, в каждой нише в стенке бетонной крепи ствола пробуривают отверстия в вертикальном и горизонтальном направлении относительно вертикальной оси ствола для установки замерных точек в виде репер-маяков, выполненных в виде металлических устойчивых к коррозии цилиндрических роликов, снятие показаний вертикальных и горизонтальных смещений репер-маяков замерных станций осуществляют вручную на каждой отметке исследования, с использованием механического тензометра; кроме того, в горизонтальной плоскости ствола на каждой отметке исследования устанавливают реперную станцию, включающую четыре замерные точки в виде металлических анкер-реперов, выполненных с возможностью вкручивания в них съёмных реперов, что позволяет сформировать две главные наблюдательные линии, которые располагаются перпендикулярно относительно друг друга по главным осям ствола, на реперных станциях измерение расстояний между замерными точками в виде металлических анкер-реперов производят с помощью ленточного экстензометра или высокоточного геодезического оборудования, далее при проведении периодического или внештатного мониторинга бетонной крепи вертикального ствола при каждом измерении определяют расчетным путем величины деформаций из величин смещения замерных точек в виде репер-маяков на замерных станциях и измеряемых расстояний между замерными точками в виде анкер-реперов на реперных станциях на каждой

отметке исследования относительно начальных измерений и определяют действующие относительные деформации и действующие напряжения в бетонной крепи ствола и массиве горных пород.

5

10

15

20

25

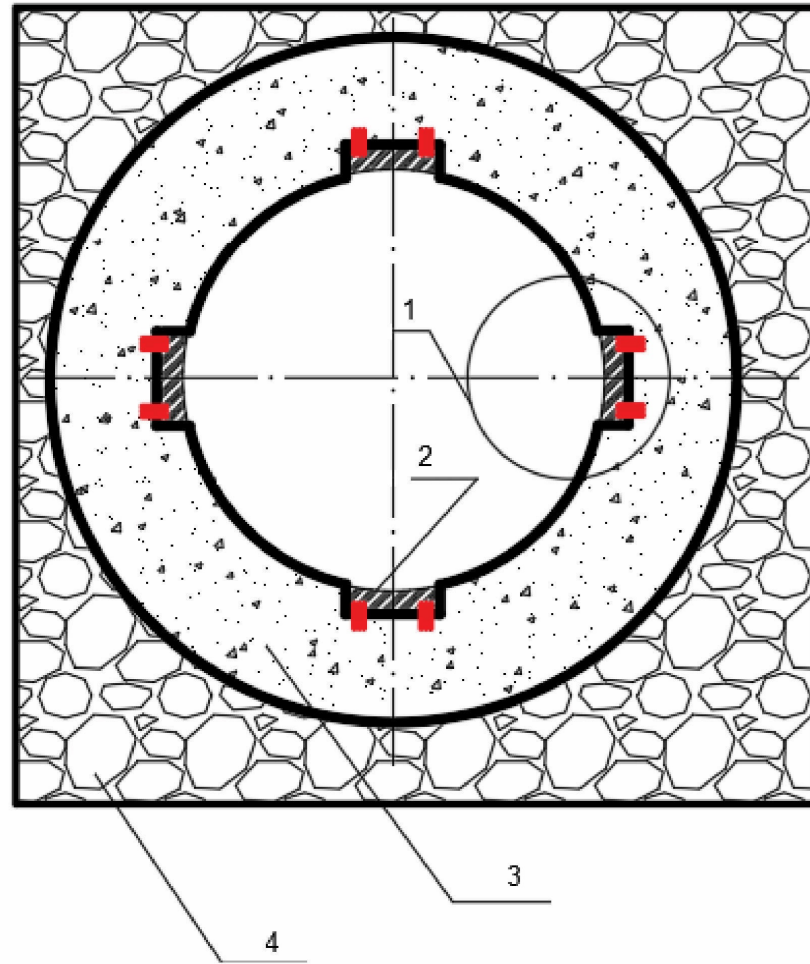
30

35

40

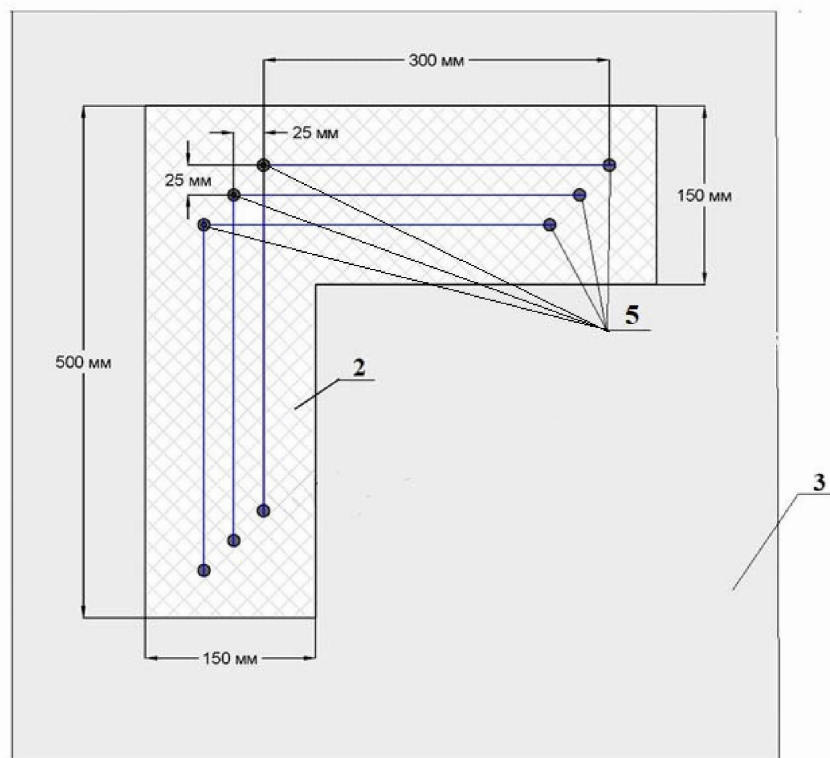
45

1

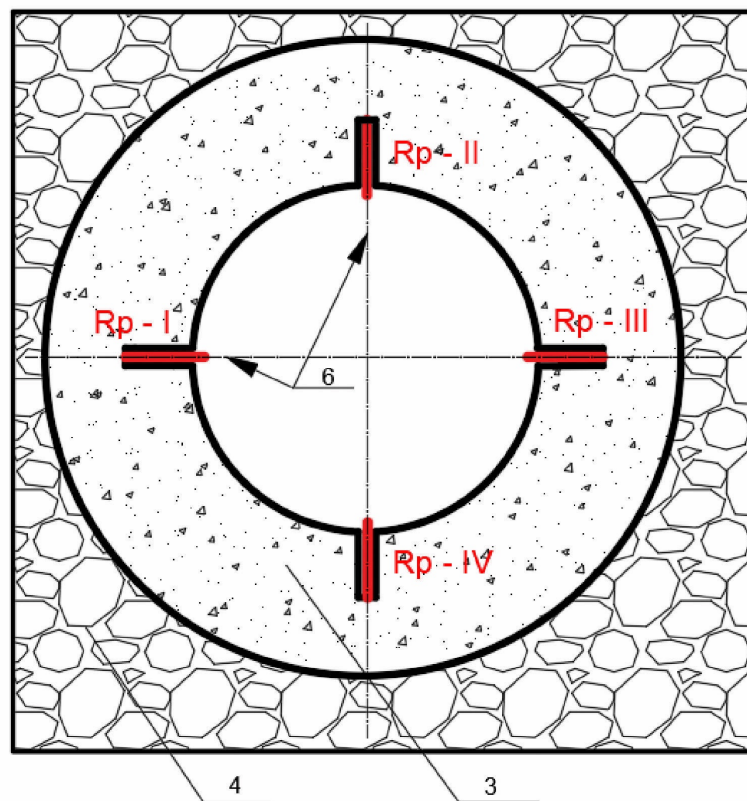


Фиг. 1

2



Фиг.2



Фиг.3