

6. Rib S.V., Fryanov V.N. Development of a complex of problem-oriented programs for numerical modeling of the stress-strain state of inhomogeneous coal targets // Mining information and Analytical Bulletin, 2015. No. 3. pp. 367-372.

7. Numerical modeling of the geomechanical state of inhomogeneous coal targets by the finite element method / S.V. Rib, V.V. Basov, A.M. Nikitina, D.M. Borzykh. High-tech technologies for the development and use of mineral resources: Novokuznetsk, 2014. pp. 123-128.

8. Yakovlev D.V., Mulev S.N. The experience of using multifunctional geophysical equipment Angel-M in the coal and ore industry // Coal, 2014. No. 10. pp. 14-19.

9. Kurlenya M.V., Kulakov G.I., Yakovitskaya G.E. The stages of the destruction process based on the study of EMI radiation // Physico-technical problems of mining. 1991. No. 1. pp.12-21.

10. Use of Electromagnetic Radiation from Fractures for Mining-Induced Stress Field Assessment / D. Song [et al.] // Journal of Geophysics and Engineering. 2018. Vol. 15. Issue 4. P. 1093–1103.

11. Potokin A.S., Kuznetsov N.N., Zemtsovsky A.V. Review of methods for measuring acoustic and electromagnetic emission parameters in rock massifs // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2019. Issue 10. No. 5 (18). pp. 132-138.

УДК 622.831.3 DOI 10.46689/2218-5194-2022-2-1-466-474

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ НА СТЕНКАХ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

С.Д. Яцыняк, Е.А. Ермолович

Показано предназначение устройства – для измерения деформаций стенок горных выработок и последующего вычисления по ним действующих напряжений в массиве горных пород. Использование его позволит получать более достоверные измерения, за счет неизменности непосредственных контактов реперных узлов с глубокими слоями горной породы и особо надежной конструкции самих узлов. Кроме того, устройство просто в исполнении и надежное в эксплуатации, обеспечивает стабильность реперной точки.

Ключевые слова: деформационные методы; напряженно-деформированное состояние массива горных пород; частичная разгрузка; устройство для измерения деформаций, реперы.

Инструментальные методы изучения состояния массивов горных пород и проявлений горного давления в процессе добычи полезных ископаемых имеют очень большое значение в комплексе научных исследований, так как натурным экспериментом, как правило, начинается и заканчивается разработка теоретических представлений в геомеханике.

Наиболее часто используемыми методами определения напряжений на поверхности горных выработок являются [1, 2]: метод полной разгрузки, метод частичной разгрузки и метод компенсационной нагрузки.

Усовершенствованием метода частичной разгрузки занимались сотрудники ИГД СО РАН СССР [3], ИГД УрО РАН [4,5], Сибирского индустриального государственного университета [6], ОАО «ВИОГЕМ» [7].

Метод частичной разгрузки на больших базах реализуется при измерении деформаций на стенках горной выработки устройством включающем реперы съемные цангового типа. Под них выбуривают отверстия непосредственно у забоя выработки на ее контуре, и с помощью индикаторной стойки измеряют ее диаметр в трех направлениях [6].

Недостаток устройства и способа измерения, заключается в его сложности, что приводит к неточности в измерениях линейных смещений стенок выработки.

Перечисленные несовершенства устранены в устройстве для измерения деформаций на стенках горной выработки методом частичной разгрузки на больших базах, включающем 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 [8,9].

Однако и у данного технического решения есть недостатки [10], которые заключаются в том, что глубина шпуров под реперы до 200 мм при диаметре до 45 мм и расположение уклона на клиньях таковы, что при вибрациях от бурения под взрывные заряды и при зачистных работах после взрыва, происходит неконтролируемое расслабление и смещение клиньев. Это означает ослабление конусного стопора на малом клине, поскольку пружина стопора стремится вытолкнуть больший клин, который в исходном положении подпирает малый клин только за счет трения покоя. Действие суммарных сил от пружины стопора и от рабочего натяжения рулетки перед вторым циклом измерений при неизбежных вибрациях, снижающих трение покоя, вызывают смещение большого клина в сторону более свободного положения. Это нарушает основу метода частичной разгрузки, и как стабильность реперных точек в массиве частично разгружаемой от горного давления породы на больших базах и не позволяет достигать достоверных измерений [10].

Целью работы было создание устройства, расширяющего арсенал для измерения деформаций на стенках горных выработок, как в вертикальных, так и в горизонтальных и наклонных, обеспечивающее надежность в эксплуатации и возможность получать более достоверные измерения.

Поставленная задача решается с помощью разработанного устройства для измерения деформаций на стенках горной выработки, содержаще-

го съёмные реперы и измерительный прибор [10]. Реперы выполнены в виде металлических стержней с резьбой на одном конце для соединения его с хвостовой частью анкера и имеющим защитный съёмный колпачок, а на втором конце каждого съёмного репера размещена по посадке неподвижная наружная обойма подшипника качения, причем во вращающейся вокруг оси репера внутренней обойме подшипника жестко закреплен круглый стержень и на нём закреплено кольцо, соединяющееся с крючком измерителя длины в виде ленточного экстензометра.

Устройство для измерения деформаций на стенках горной выработки имеет следующие отличия [10] (рис.1):

- репер выполнен в виде металлического стержня 1 с резьбой на одном конце 2 для соединения его с анкером и имеющим защитный съёмный колпачок 4, а на втором конце каждого съёмного репера размещена по посадке неподвижная наружная обойма подшипника качения 5, причем во вращающейся вокруг оси репера внутренней обойме подшипника жестко закреплен круглый стержень 6 и на нём же закреплено кольцо 7;

- кольцо 3, свободно вращающееся в подшипнике 5 на оси симметрии репера, обеспечивает измерение по каждому направлению между реперами по кратчайшему расстоянию и с одинаковым натяжением (10 кг), а значит, повышает точность измерений;

- установленный на хвостовой части анкера репер 1 отвинчивается и сохраняется невредимым при буровзрывных и механизированных работах при проведении горной выработки, за счет защитного съёмного колпачка;

- резьбовое соединение в анкере защищается заглушкой от механического повреждения при производстве горных работ (см. рис. 2)

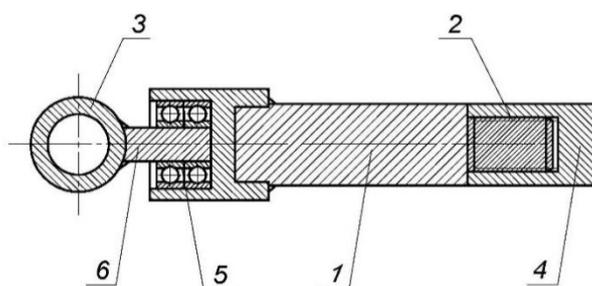


Рис. 1. Устройство репера:

1 – металлический стержень; 2 – резьба; 3 – кольцо; 4 – съёмный колпачок; 5 – подшипники качения; 6 – круглый стержень

Перечисленные новые конструктивные особенности устройства [10] существенно улучшают его надежность и жесткость, обеспечивая стабильность положения реперной точки, смещение которой в новой конструкции

может быть вызвано только действием внутренних напряжений горного массива, возникающих при проходке горной выработки, что и требуется для измерения деформаций и расчета напряжений. При таком конструктивном решении точность измерения смещения реперов увеличивается на 98 % от известных моделей (0,01 мм против 0,5 мм) [6].

Работа устройства осуществляется следующем порядке [10] (рис.2). При проходке горной выработки непосредственно в плоскости забоя пробуривают под углом 45° к этой плоскости 3 – 6 шпуров глубиной 1,3 м диаметром 34 – 42 мм, в зависимости от типоразмера используемого бура стандартного горного оборудования.

Перед забиванием каждого анкера (рис. 2), заостренного спереди, к нему привинчивают забойник (на рис. 2 не показано), а в шпур помещают достаточное количество самотвердеющей смеси. Анкер 2 вместе с забойником забивается в шпур до упора пока смесь сохраняет пластичность, и остается в покое до полного ее затвердения, что проверяется по фрагментам смеси, которые были выдавлены из шпура при забивании анкера 2.

После затвердевания смеси забойник вывинчивается из анкера 2, а на его место ввинчивается репер 1 посредством резьбы. Второй конец репера с размещенной на нем по посадке неподвижной наружной обоймой подшипника качения, и с закрепленным круглым стержнем на вращающейся вокруг оси репера внутренней обойме подшипника с жестко закрепленным на нем кольцом 3, соединен через крючок; 4 с измерителем длины – ленточным экстензометром 5.

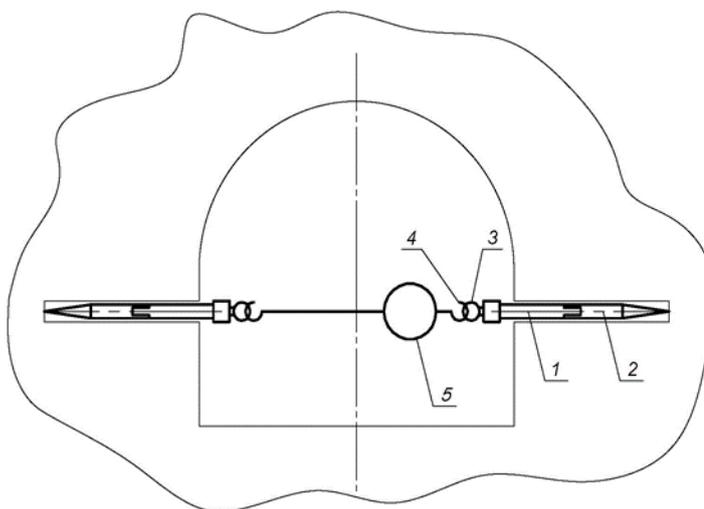


Рис. 2. Схема устройства для измерения деформаций на стенках горной выработки:

1 – репер; 2 – анкер; 3 – кольцо; 4 – крючок; 5 – ленточным экстензометром

При наличии подготовленной таким образом пары реперов их номера записываются и с помощью ленточного экстензометра 5 определяется минимальное расстояние между кольцами 3, при условии их свободного вращения на стержнях 1 под действием постоянного натяжения ленточным экстензометром 5. Замеры по диаметрам и хордам разных направлений заносятся в журнал. После окончания измерений каждый репер 1 вывинчивается из анкера 2, и его резьба сохраняется навинчиванием защитного съемного колпачка (рис. 1), все номера сверяются, и реперы 1 укладываются в футляр. В анкера 2 завинчиваются пробки с резьбой или болты. Перечисленные операции повторяют после буровзрывных и механизированных работ при проведении горных выработок снова устанавливают реперы 1 на те же места, поскольку анкера 2 не сдвигались внутри шпуров благодаря затвердеванию смеси и проводят последующие измерения.

Проверка эффективности устройства и оценка напряженно - деформированного состояния массива пород методом разгрузки на больших базах была выполнена на участке Панельного откаточного орта № 1 горизонт – 250 м (в забое, в интервале 38,4 метра от маркшейдерской точки МТ 157, АО «Комбинат КМАруда», шахта им. Губкина) [10]. Породы, в которых пройдена выработка, представлены мелкозернистыми плотными средне слоистыми гематит-магнетитовыми кварцитами с коэффициентом крепости по Протодюконову – 16-17. Орт характеризуется следующими геометрическими параметрами: высотой – 3700 мм; шириной – 4400 мм. Под углом 45° к плоскости груди забоя были пробурены в плоскости забоя 3 шпура глубиной 1,3 м диаметром 42 мм, Измерения выполнялись при проходке горизонтальной выработки на полное сечение. Анкера для измерения были установлены в центральной части кровли и в бортах орта на высоте 1,5 м и находились от груди забоя в 0,3 м. Схема установки реперной станции (несколько реперов) представлена на рис. 3 [10].

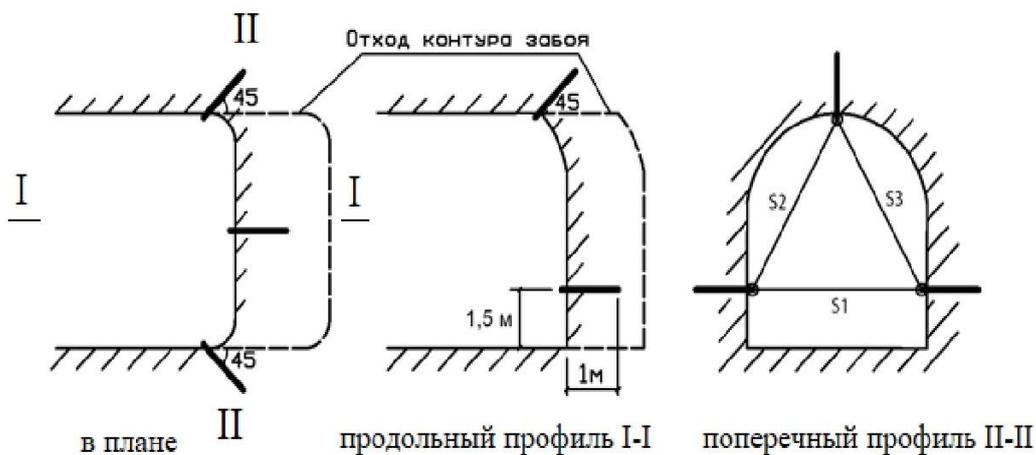


Рис. 3. Размещение реперов в горные выработки

Перед выполнением измерений установили съемные реперы. Замеры проводились два раза: первый раз после установки в забое орта, второй раз после проходки до 2-х размеров его ширины. После каждого произведенного измерения съемные анкеры 3 (рис. 2). выкручивались, и резьбовая часть каждого съемного репера защищалась колпачком 4 (рис. 1). Результаты натуральных измерений в Панельном откаточном орте № 1 горизонт – 250 м. представлены в таблице [10].

Расчет относительных деформаций и суммарных напряжений выполнен по формулам [11]:

– относительные деформации

$$\varepsilon_{S_i}^0 = \frac{\Delta S_i}{S_i}, \quad (1)$$

– максимальные суммарные напряжения

$$\sigma_{\max} = E \times \left[\frac{(\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_2}^0 + \varepsilon_{S_3}^0)}{3(1-\mu)} - \frac{1}{1+\mu} \sqrt{\left(\varepsilon_{S_3}^0 - \frac{\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_2}^0 + \varepsilon_{S_3}^0}{3} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_2}^0}{\sqrt{3}} \right)^2} \right], \quad (2)$$

– минимальные суммарные напряжения

$$\sigma_{\min} = E \times \left[\frac{(\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_2}^0 + \varepsilon_{S_3}^0)}{3(1-\mu)} - \frac{1}{1+\mu} \sqrt{\left(\varepsilon_{S_3}^0 - \frac{\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_2}^0 + \varepsilon_{S_3}^0}{3} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_2}^0}{\sqrt{3}} \right)^2} \right], \quad (3)$$

где S_i – база наблюдения i -ой линии, мм; ΔS_i – смещение между реперами, мм; $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ – максимальные и минимальные суммарные напряжения, кгс/см²; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; $\varepsilon_{S_1}^0; \varepsilon_{S_2}^0; \varepsilon_{S_3}^0$ – относительные деформации разгрузки массива по базам измерения $S_1; S_2; S_3$.

Результаты натуральных измерений в Панельном откаточном орте № 1 горизонт – 250 м

Базы наблюдения	Замер базы до взрыва, мм 27.10.20г., 11:20	Замер базы после взрыва, мм 29.10.20 г., 9:30	Смещения между реперами ΔS_i , мм
S₁	2607,97	2607,45	-0,52
S₂	2931,83	2931,54	-0,29
S₃	4290,41	4286,98	-3,43

В результате расчета получены следующие значения суммарных напряжений: минимальное – 14,51 МПа (148 кгс/см²); максимальное – 100,03 МПа (1020 кгс/см²); [10].

Согласно выполненным измерениям и расчетам, доказывающим, что отношение измеренных максимальных напряжений к пределу прочности породы на сжатие (в среднем для кварцита исследуемого участка – 152 МПа) не превышает значения 0,8, на основании нормативного документа [12] можно сделать вывод, что массив пород исследуемого участка не относится к склонным к горным ударам.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования доказали возможность эффективного использования разработанного устройства для измерения деформаций на стенках горной выработки для достоверного вычисления по ним действующих напряжений в массиве горных пород. Данное устройство для измерения деформаций на стенках горной выработки защищено патентом РФ [10].

Список литературы

1. Деформационные методы определения напряженного состояния пород на объектах недропользования / А.В. Зубков [и др.] // Проблемы недропользования. 2016. № 4. С. 41 – 49.
2. Гребенкин, С.С., Павлыш В.Н., Самойлов В.Л., Петренко Ю.А. Управление состоянием массива горных пород: учеб. пособие. Донецк: ВИК. 2010. 193 с.
3. Метод частичной разгрузки на большой базе. Влох Н.П., Зубков А.В., Феклистов Ю.Г. / Диагностика состояний породных массивов: сб. науч. тр. / Новосибирск: ИГД СО РАН СССР. 1980. С. 37 – 42.
4. Сашурин А. Д. Становление и развитие уральской школы геомехаников // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. 2005. Вып. 3 (93). Екатеринбург. С. 3 – 12.
5. Геомеханика в горном деле // Сб. науч. тр. Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 4–5 июня 2014 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН. 2014. 296 с.
6. Устройство для измерения деформаций на стенках горной выработки методом частичной разгрузки на большой базе: пат. 2314417 РФ; опубл. 10.01.2008. Бюл № 1.
7. Натурные исследования геодинамических процессов на рудниках КМА / С.В. Сергеев, И.В. Сеница, Г.Ю. Юрченко, С.Д. Яцыняк // Сб. науч. тр. VI Международной научной конференции «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных странах». Белгород, 12 – 16 октября 2015 года. Белгород: Изд-во Политерра, 2015. С. 389 – 394.

8. Влох Н.В. Управление горным давлением на подземных рудниках. Метод разгрузки на большой базе. М.: Изд-во Недра, 1994. С. 28 – 34.

9. Ямщиков В.С. Контроль процессов горного производства. М.: Изд-во Недра, 1989. С.162 – 169.

10. Устройство для измерения деформаций на стенках горной выработки: пат. 2761081 РФ; опубл. 03.12.2021. Бюл № 34.

11. Казикаев Д.М. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. М.: Изд-во Недра, 1981. С.63.

12. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору приказ от 08.12.2020 № 505 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых". Зарегистрировано в Минюсте России 21.12.2020 № 61651.

Яцыняк Сергей Дмитриевич, ст. преподаватель, syatsenyuk65@mail.ru, Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Ермолович Елена Ахмедовна, д-р техн. наук, проф., elena.ermolovich@mail.ru, Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет

DEVICE FOR MEASURING DEFORMATIONS ON THE WALLS OF A MINE

S.D. Yatsynyak, E.A. Ermolovich

This device is designed to measure the deformations of the walls of mine workings with subsequent calculation of the acting stresses in the rock mass. Use of the proposed device will make it possible to obtain more reliable measurements. The effect is achieved due to the invariability of the direct contacts of the reference nodes with deep layers of rock and a particularly reliable design of the nodes themselves. In addition, the device is simple design and reliable in operation, which ensures the stability of the fiducial point.

Key words: deformational methods; stress-strain state of the rock mass; partial discharge; device for measuring deformations; benchmarks

Yatsynyak Sergey Dmitrievich, senior lecturer, syatsenyuk65@mail.ru, Russia, Belgorod, Belgorod National Research University,

Ermolovich Elena Akhmedovna, doctor of technical sciences, professor, elena.ermolovich@mail.ru, Russia, Belgorod, Belgorod National Research University

Reference

1. Deformation methods for determining the stress state of rocks on subsurface use objects / A.V. Zubkovkh [et al.] // Problems of subsurface use. 2016. No. 4. pp. 41-49.

2. Grebenkin, S.S., Pavlysh V.N., Samoilov V.L., Petrenko Yu.A. Management of the state of the rock mass: textbook. stipend. Donetsk: VIC. 2010. 193 p.

3. The method of partial unloading on a large base. Vlokh N.P., Zubkov A.V., Feklistov Yu.G. / Diagnostics of rock mass states: collection of scientific tr. / Novosibirsk: IGD SB RAS USSR. 1980. pp. 37 – 42.

4. Sashurin A.D. Formation and development of the Ural school of geomechanics // Geotechnological problems of complex development of the subsoil. 2005. Issue 3 (93). Yekaterinburg. pp. 3-12.

5. Geomechanics in mining // Collection of scientific tr. of the All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation on June 4-5, 2014. Yekaterinburg: IGD UrO RAS. 2014. 296 p.

6. Device for measuring deformations on the walls of a mining excavation by partial unloading on a large base: pat. 2314417 RF; publ. 10.01.2008. Byul No. 1.

7. Field studies of geodynamic processes at KMA mines / S.V. Sergeev, I.V. Sinitsa, G.Y. Yurchenko, S.D. Yatsynyak // Collection of scientific tr. VI International Scientific Conference "Problems of nature management and ecological situation in European Russia and neighboring countries" Belgorod, October 12-16, 2015. Belgorod: Polyterra Publishing House, 2015. pp. 389-394.

8. Vlokh N.V. Management of rock pressure at underground mines. The method of unloading on a large base. M.: Publishing house of the Subsoil, 1994. pp. 28 - 34.

9. Yamshchikov B.C. Control of mining processes. M.: Publishing House of the Subsoil, 1989. pp.162 – 169.

10. Device for measuring deformations on the walls of mining: pat. 2761081 RF; publ. 03.12.2021. Byul No. 34.

11. Kazikaev D.M. Geomechanical processes in the joint and repeated development of ores. M.: Publishing House of the Subsoil, 1981. p.63.

12. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision Order No. 505 dated 08.12.2020 "On approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety" "Safety rules for mining and processing of solid minerals". Registered with the Ministry of Justice of Russia on 21.12.2020 No. 61651.