

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Д. С. Лепетюха^{1,2}, С. Д. Яцыняк^{1,2}, И. В. Синица¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт ОАО «ВТОГЕМ», г. Белгород, Россия

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия

Аннотация: Представлены результаты длительного мониторинга деформационных процессов массива основных типов горных пород в исследуемых горно-капитальных выработках Гремячинского месторождения. Мониторинг деформационных процессов массива выполнялся с помощью цифрового ленточного экстензометра на установленных реперных станциях. Предложенная методика мониторинга позволила определить фактические величины смещений, по результатам которых была установлена связь величин смещений во времени на различных участках наблюдений. Полученные результаты используются для оценки устойчивого состояния массива горных пород в процессе длительной эксплуатации горно-капитальных выработок, а также могут послужить основой при проектировании горных выработок в подобных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: мониторинг деформационных процессов, горно-капитальные выработки, конвергенция, ленточная экстензометрия, реперные станции

Для цитирования: Лепетюха Д. С., Яцыняк С. Д., Синица И. В. Мониторинг деформационных процессов горных пород в условиях Гремячинского месторождения калийных солей. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024. №5. С. 95-99. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_95_99.

MONITORING DEFORMATION PROCESSES OF ROCKS IN THE GREMYACHINSKOE POTASSIUM SALTS DEPOSIT

D. S. Lepetyukha^{1,2}, S. D. Yatsynyak^{1,2}, I. V. Sinitsa¹

¹All-Russian Research Institute, OJSC «VTOGEM», Belgorod, Russian Federation

²Belgorod State National Research University NRU «BelSU», Belgorod, Russian Federation

Abstract: This paper presents the results of long-term monitoring of the deformation processes of the massif of the main types of rocks in the studied mining and capital workings of the Gremyachinsky deposit. Displacement monitoring was performed using a digital tape extensometer at installed reference stations. The proposed monitoring technique makes it possible to determine the actual values of the displacements, according to the results of which the relationship between the values of the displacements in time at different observation sites is established. The results obtained are used to assess the stable state of the rock mass during the long-term operation of mining and capital workings, and can also serve as a basis for the design of mining workings in similar mining and geological conditions.

Keywords: monitoring of deformation processes, permanent workings, convergence, tape extensometry, reference stations

For citation: Lepetyukha D. S., Yatsynyak S. D., Sinitsa I. V. Monitoring deformation processes of rocks in the Gremyachinskoe potassium salts deposit. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(5):95-99. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_95_99.

Введение

В зависимости от физико-механических характеристик массива горных пород процессы деформирования и разрушения в стенках, кровле и почве выработки классифицируются как различные типы проявления горного давления. В упругопластичных и пластичных породах при определенных уровнях деформирования во времени структура массива теряет прочностные характеристики, что приводит к внешним признакам проявления данных процессов: возникновению отслоений и отжима в кровле и боках выработки, пучению почвы. Эти факторы в свою очередь приводят к нарушению целостности сопряжений, изменению площади

поперечного сечения и постепенному разрушению горных выработок.

В зависимости от сложности горно-геологических условий на объекте исследования мониторинг может быть только визуальным или осуществляться в сочетании с использованием специального измерительного оборудования. Наблюдения производят с периодической или постоянной регистрацией измерений.

Особенно актуальной данная проблема является при ведении горных работ в породных массивах, расположенных на больших глубинах и обладающих упругопластичными и пластичными свойствами. В подобных ситуациях возникает

необходимость организации инструментальных наблюдений за процессом деформирования массива горных пород в подземных горных выработках, результаты которых своевременно обеспечивают безопасное ведение горных работ. В связи с этим важной задачей службы мониторинга каждой соляной шахты является контроль деформационных процессов массива горных пород во времени.

В зарубежной практике для контроля деформационных процессов массива горных пород и крепи подземных горных выработок на рудниках и шахтах применяют различные специальные инструментальные средства измерений: анкеры, акустические экстензометры, контрольные экстензометры, волоконно-оптические датчики, волоконные брэгговские решетки, различные датчики деформаций и напряжений и др. [1–5].

Широкое применение в практической геомеханике получил метод ленточной экстензометрии, с помощью которого можно контролировать оползневые процессы на открытых горных работах, а также сближения стенок (конвергенцию) горных выработок, применяя различные схемы измерения в подземных условиях [6, 7].

В российской литературе описаны методы изучения деформационных процессов, которые зачастую производились с помощью геодезического оборудования или специальных геомеханических средств измерений [8, 9]. Известен опыт применения ленточного экстензометра при проведении экспериментальных исследований деформирования массива горных пород с помощью глубинных реперов [10].

Институтом ОАО «ВИОГЕМ» мониторинг смещений горизонтальных и наклонных горно-капитальных выработок (ГКВ) на Гремячинском месторождении производится с 2013 года.

Выбор данной методики обусловлен комплексным подходом к выполнению натурных наблюдений.

Работы проводились в два этапа:

- на первом этапе осуществлялось измерение фактических напряжений в забое методом частичной разгрузки на больших базах [11] с применением усовершенствованных измерительных головок [12];

- на втором этапе использовались установленные репера для мониторинга конвергенции горных выработок.

Метод измерения смещений ленточным экстензометром обоснован тем, что определения планово-высотного положения наблюдаемых реперов не позволяют произвести точную привязку к опорным пунктам маркшейдерской сети при измерениях высокоточным геодезическим оборудованием из-за нахождения опорных реперов в породах, обладающих реологическими свойствами.

Цель исследований

Определение фактических смещений породного массива для дальнейшей оценки устойчивости и безопасного эксплуатационного состояния горно-капитальных выработок.

Идея исследований: определение деформаций массива горных пород во времени, установление характера деформирования массива после проходки выработок в породах – ангидрит-доломитовых, каменной соли, сильвинита и карналлита.

Практическое и научное значение исследований обусловлено получением достоверных данных мониторинга при длительном наблюдении и новых зависимостей деформационного процесса для данного месторождения.

Материал и методы исследования

Реперные станции (РС) устанавливались в процессе проходки горно-капитальных выработок на глубинах 1100–1300 м во всех типах пород, характерных для Гремячинского месторождения: ангидрит-доломитовых, ангидрит-доломитовых с прослоем каменной соли, галитовых, карналлитовых и сильвинитовых (породы).

Расположение РС осуществлялось по всему шахтному полю на наиболее характерных участках исследования: в околоствольном дворе, на западном, северо-западном и восточном направлениях. Измерения выполнялись на реперных базисах по принятым схемам расположения реперов: в кровле, почве и стенках выработки (рис. 1а), в кровле и стенках выработки (рис. 1б). Схема измерений с дополнительным репером в почве применялась преимущественно в сопряжениях соляных пород с большим сечением. Следует отметить, что предложенное расположение реперов в выработке является наиболее благоприятным с точки зрения пространственного расположения и получения конечных результатов.

Заложение реперов осуществлялось на глубину 1,3 м, что обеспечило длительную сохранность тела репера в процессе деформирования массива. Также в конструктивных особенностях репера был учтен фактор повреждения измерительного кольца, который устранялся взаимозаменяемым элементом. Измерения смещений массива горных пород на данном месторождении производились ленточным экстензометром ИТМ-Soil, оборудованным стальной измерительной лентой и цифровым датчиком линейных перемещений. Высокая точность при измерениях длин линий между двумя реперами достигается за счет введения поправки на температуру, минимальной погрешности измерений электронного микрометра ($\pm 0,01$ мм), точности снятия показаний (от $\pm 0,01$ до $\pm 0,1$ мм) [13].

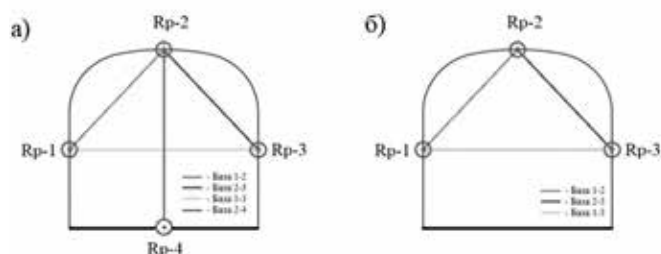


Рис. 1. Типовая схема расположения реперов в горно-капитальных выработках:

а) в кровле, почве и стенках выработки; б) в кровле и стенках

Fig. 1. Typical layout of benchmarks in capital mine working: а) in the roof, soil and walls of the workings; б) in the roof and walls

Результаты экспериментальных исследований

По данным натурных наблюдений за процессом деформирования горно-капитальных выработок определены суммарные смещения на реперных станциях и выявлены характерные зависимости смещений приконтурного массива во времени. Данные о смещениях, полученные с помощью ленточного экстензометра, позволяют напрямую оценить устойчивость горных выработок. Итоговой информацией служат графики зависимостей смещения породного массива от времени наблюдений на каждом участке исследования. В зависимости от времени эксплуатации выработок возможно устанавливать категорию устойчивости пород для корректировки проектных решений в части крепления и перекрепления горных выработок.

Оценку категории устойчивости пород в исследуемых выработках предложено выполнять по величине смещений породного массива за весь период наблюдений [14]. Таким образом, выбор способов охраны и крепления горных выработок на Гремячинском месторождении принято производить с учетом указания категории устойчивости пород и характеристик структурного строения массива в кровле, почве и стенках выработок [15].

На рисунке 2 представлен обобщенный график зависимостей смещений приконтурного массива во времени для основных типов горных пород Гремячинского месторождения. При построении зависимостей использовались усредненные значения по реперным станциям (максимальные смещения репера в кровле и стенках выработки).

Изменение смещений массива горных пород U во времени t аппроксимируются логарифмическими зависимостями с достаточной достоверностью аппроксимации (R^2):

$$\begin{aligned} U_{\text{(карналлит)}} &= 69\ln(t) - 264; (R^2 = 0,93), \\ U_{\text{(сильвинит)}} &= 23,15\ln(t) - 82; (R^2 = 0,95), \\ U_{\text{(каменная соль)}} &= 5,14\ln(t) - 9,5; (R^2 = 0,97), \\ U_{\text{(анг.-дол. с просл.)}} &= 4,93\ln(t) - 10,8; (R^2 = 0,95). \end{aligned}$$

Полученные зависимости могут применяться для дальнейшей оценки безопасной эксплуатации и прогноза устойчивого состояния подземных горных выработок исследуемого месторождения.

Фактические данные натурных наблюдений могут послужить хорошей основой для верификации моделей при моделировании.

Заключение

Важной задачей при проведении мониторинга является определение устойчивости горных выработок при наблюдениях за проявлением горного давления. В зарубежной и российской практике измерения при долговременном мониторинге смещений с использованием ленточного экстензометра не проводились. Впервые этот опыт был применен в горно-капитальных выработках Гремячинского месторождения.

Наиболее важным элементом данного исследования является анализ результатов измерений, который проводится для определения параметров процесса деформирования массива горных пород на участках исследования. Актуальность настоящих исследований представляет научный интерес, который подтверждается непрерывным изучением различных причин процесса деформирования массива горных пород многими исследователями и научными организациями [10–11, 15–20].

На основании измерений смещений реперов ленточным экстензометром установлены зависимости деформационных процессов массива горных пород во времени для данного месторождения. Данные натурных наблюдений позволили напрямую оценить категорию устойчивости горных выработок на различных участках исследования.

Выводы

1. В статье представлена экспериментальная методика мониторинга деформационных процессов массива пород в сложных горно-геологических условиях. Рассмотрена общая концепция формирования и расположение реперных станций в подземных горно-капитальных выработках Гремячинского месторождения.
2. Определены фактические значения смещений породного массива на различных участках наблюдения. Установлены зависимости смещений во времени для основных типов пород Гремячинского месторождения.
3. С учетом полученных результатов натурных наблюдений возможно осуществление корректировок проектных решений по перекреплению подземных горных выработок в процессе эксплуатации.
4. Результаты мониторинга служат основой для комплексной оценки эксплуатационного состояния горных выработок с дальнейшим присвоением категории устойчивости массива.
5. В дальнейших работах на основе анализа данных натурных наблюдений будут представлены характеристики процесса деформирования массива для основных типов горных пород Гремячинского месторождения.

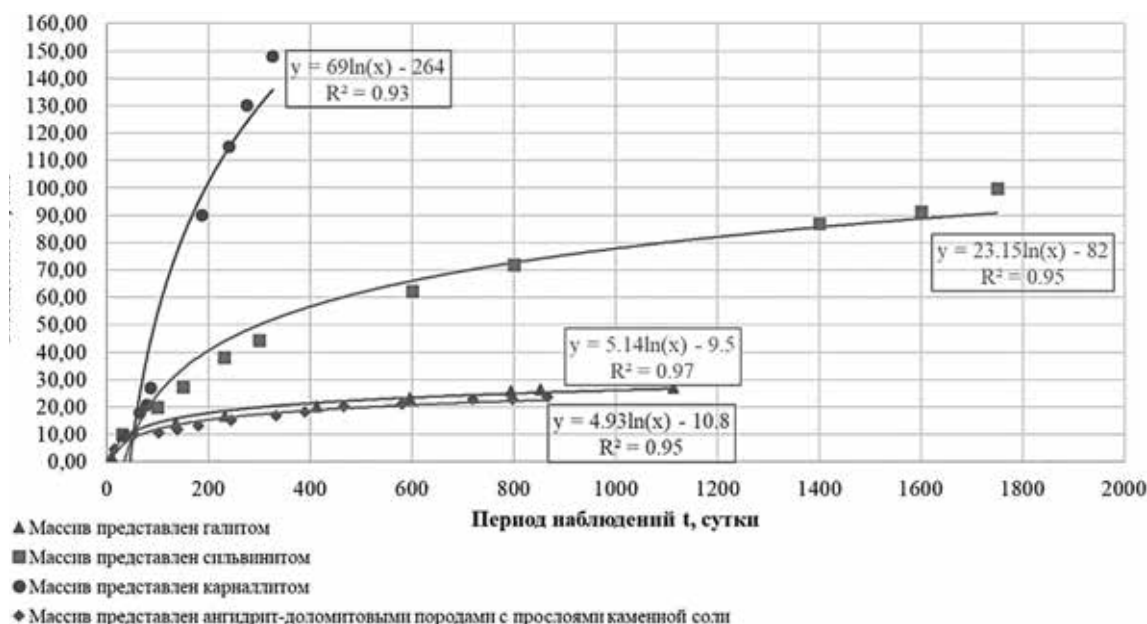


Рис. 2. Зависимости смещений приконтурного массива горно-капитальных выработок от времени в основных типах пород Гремячинского месторождения по результатам длительного мониторинга

Fig. 2. Dependences of displacements of the peripheral mass of capital underground mining on the main types of rocks of the Gremyachinskoe deposit according to the results of long-term monitoring

1. Heritage Y. Mechanics of rib deformation – Observations and monitoring in Australian coal mines. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2019;29(1):119-29. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.017.
2. Gong H, Kizil MS, Chen Z, et al. Advances in fiber optic based geotechnical monitoring systems for underground excavations. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2019;29(2):229-38. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.06.007.
3. Zhao Y, Zhang N, Si G. A Fiber Bragg Grating-Based Monitoring System for Roof Safety Control in Underground Coal Mining. *Sensors.* 2016;16:1759. DOI: 10.3390/s16101759.
4. Hu T, Hou G, Li Z. The Field Monitoring Experiment of the Roof Strata Movement in Coal Mining Based on DFOS. *Sensors.* 2020;20(5):1318. DOI: 10.3390/s20051318.
5. Skrzypkowski K. Case Studies of Rock Bolt Support Loads and Rock Mass Monitoring for the Room and Pillar Method in the Legnica-Głogów Copper District in Po-land. *Energies.* 2020;13(11):2998. DOI: 10.3390/en13112998.
6. Matuszkova B, Qu J, Neuman D. Using of the Tape Extensometer for Possibilities of Landslide Monitoring or other purposes. *7th World Multidisciplinary Earth Sciences Sym-posium (WMESS 2021). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 2021;906(1):01026. DOI: 10.1088/1755-1315/906/1/012026.
7. Szczerbowski Z, Niedbalski Z. The Application of a Sonic Probe Extensometer for the Detection of Rock Salt Flow Field in Underground Convergence Monitoring. *Sensors.* 2021;21(6):5562. DOI: 10.3390/S21165562.
8. Прушак ВЯ. Деформация контура горных выработок Старобинского месторождения калийных солей при различных глубинах заложения. *Доклады Национальной академии наук Беларуси.* 2016;60(2):97–101. [Prushak VYa. Deformation of the contour of mine workings of the Starobinsky deposit of potassium salts at different depths. *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus.* 2016;60(2):97-101 (In Russ.)].
9. Стаднюк ЕД. Шахтные инструментальные наблюдения конвергенции вмещающих пород в действующих очистных забоях. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.* 2013;(3):126–135. [Stadnyuk ED. Mine instrumental observations of the convergence of host rocks in active working faces. *Izvestia of Tula State University. Geosciences.* 2013;3:126-35 (In Russ.)].
10. Токсаров ВН, Морозов ИА, Бельтюков НЛ, Ударцев АА. Исследование деформирования подземных горных выработок в условиях Гремячинского месторождения калийных солей. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).* 2020;(7):113–124. [Toksarov VN, Morozov IA, Beltyukov NL, et al. Study of deformation of underground mine workings in the conditions of the Gremyachinskoye potassium salt deposit. *Mining information and analytical bulletin.* 2020;(7):113-24. DOI:10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124 (In Russ.)].
11. Лепетюха ДС, Храмов БА. Напряженное состояние массива горных пород Гремячинского месторождения. *Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки: Мат-лы XXX Межд. науч.-практ. конф., Bengaluru, India, 12–13 декабря 2022 года. Bengaluru, Karnataka: Pothi.com, 2022. С. 63–67. [Lepetyukha DS, Khramtsov BA. Stressed state of the rock mass of the Gremyachinskoye deposit. *Materials of the XXX international scientific and practical conference "Fundamental science and technology – advanced developments".* 2022:63-7 (In Russ.)].*
12. Патент № 2761081 С1 Российская Федерация, МПК E21C 39/00. Устройство для измерения деформаций на стенках горной выработки: № 2021114174; заявл. 19.05.2021; опубл. 03.12.2021. С. Д. Яцыняк, И. В. Синица, С. В. Сергеев [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». [Patent No. 2761081 С1 Russian Federation, IPC E21C 39/00. Device for measuring deformations on the walls of a mine opening: No. 2021114174: application. 05/19/2021: publ. 12/03/2021 / S. D. Yatsinyak, I. V. Sinitsa, S. V. Sergeev [and others]; applicant: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University" (In Russ.)].
13. Руководство по эксплуатации. Ленточный экстензометр ITM-Soil. М., 2013. 13 с. [Operation manual. ITM-Soil tape extensometer. Moscow, 2013 (In Russ.)].
14. СП 91.13330.2012. Свод правил. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80" (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 № 283) (ред. от 17.12.2021) [Электронный ресурс]. URL: docs.cntd.ru/document/1200095532 (дата обращения: 14.09.2024). [SP 91.13330.2012. Set of rules. Underground mine workings. Updated version of SNiP II-94-80" (approved by Order of the Ministry of Regional Development of Russia dated June 30, 2012 № 283) (as amended on December 17, 2021). Available from: docs.cntd.ru/document/1200095532 (In Russ.)].
15. Рыльникова МВ, Сахаров ЕМ, Неугомонов СС. Выбор типа и обоснование конструкции анкерной крепи горных выработок при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.* 2023;(3):279–292. [Rylnikova MV, Sakharov EM, Neugomonov SS. Selection of type and justification for the design of rock bolts for mine workings in the development of deep-seated deposits of potassium salts. *Izvestia of Tula State University. Geosciences.* 2023;3:279-92 (In Russ.)].
16. Рыльникова МВ, Есина ЕН, Сахаров ЕМ, Бергер РВ. Закономерности геодинамических явлений при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений калийно-магниевого солей. *Горная промышленность.* 2023; (1):89–94. [Rylnikova MV, Esina EN, Sakharov EM, et al. Regularities of geodynamic phenomena during the development of deep-lying complex-structural deposits of potassium-magnesium salts. *Mining.* 2023;(1):89-94 (In Russ.)]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-1-89-94.
17. Барях АА, Санфиров ИА, Федосеев АК. [и др.]. Сейсмогеомеханический контроль водонепроницаемых толщ калийных рудников. *Журнал горных наук.* 2017;53(6):981–992. [Baryakh AA, Sanfirov IA, Fedoseev AK, et al. Seismic-geo-

mechanical control of waterproof strata of potash mines. *Journal of Mining Sciences*. 2017;53(6):981-92 (In Russ.)). DOI: 10.1134/S1062739117063041.

18. Токсаров ВН, Морозов ИА, Бельтюков НЛ, Ударцев АА. Исследование деформирования подземных горных выработок в условиях Гремячинского месторождения калийных солей. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020;(7):113–124. [Toksarov VN, Morozov IA, Beltyukov NL, et al. Deformation of underground workings in the conditions of the Gremyachinskoe potassium salt deposit. *Mining information and analytical bulletin*. 2020;(7):113–24 (In Russ.)). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124.

19. Морозов ИА. Обеспечение устойчивости горных выработок в условиях строящихся калийных рудников. *Горное эхо*. 2019;2(75):50–53. [Morozov IA. Ensuring the stability of mine workings in the conditions of potassium mines under construction. *Mining echo*. 2019;2(75):50–3 (In Russ.)). DOI: 10.7242/echo.2019.2.11.

20. Морозов ИА, Паньков ИЛ, Токсаров ВН. Изучение устойчивости горных выработок в соляных породах. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021;(9):36–47. [Morozov IA, Pankov IL, Toksarov VN. Stability of underground holes in salt massifs. *Mining information and analytical bulletin*. 2021;9:36–47 (In Russ.)). DOI: 10.25018/0236_1493_2021_9_0_36.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Дмитрий Сергеевич Лепетюха — старший преподаватель Белгородского государственного национального исследовательского университета НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия, e-mail: lepetyukha_d@bsu.edu.ru; младший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института ОАО «ВИОГЕМ», г. Белгород, Россия, e-mail: lepetyukha.dima@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1320-0559>



Сергей Дмитриевич Яцыняк — старший преподаватель Белгородского государственного национального исследовательского университета НИУ «БелГУ», e-mail: yatsynyak@bsu.edu.ru; ведущий инженер Всероссийского научно-исследовательского института ОАО «ВИОГЕМ», г. Белгород, Россия, e-mail: syatsenyuk65@mail.ru



Игорь Владимирович Синица — заведующий лабораторией горного давления и сдвига горных пород Всероссийского научно-исследовательского института ОАО «ВИОГЕМ», г. Белгород, Россия, e-mail: lgsd@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Dmitriy S. Lepetyukha — senior lecturer of the Belgorod State National Research University NRU «BelSU», e-mail: lepetyukha_d@bsu.edu.ru; junior researcher of the All-Russian Research Institute OJSC «VIOGEM», Belgorod, Russian Federation, e-mail: lepetyukha.dima@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1320-0559>

Sergey D. Yatsynyak — senior lecturer of the Belgorod State National Research University NRU «BelSU», e-mail: yatsynyak@bsu.edu.ru; lead engineer of the All-Russian Research Institute OJSC «VIOGEM», Belgorod, Russian Federation, e-mail: syatsenyuk65@mail.ru

Igor V. Sinitsa — Head of the Laboratory of Rock Pressure and Rock Displacement of the All-Russian Research Institute OJSC «VIOGEM», Belgorod, Russian Federation, e-mail: lgsd@mail.ru

Критерии авторства / Contribution:

Д. С. Лепетюха — написание основного текста статьи, развитие метода исследования, обработка и анализ результатов исследования; С. Д. Яцыняк — развитие метода исследования, исправление рукописи, формулировка выводов; И. В. Синица — постановка задачи исследования, разработка метода исследования / D. S. Lepetyukha — writing the main text of the article, development of the research method, processing and analysis of research results; S. D. Yatsynyak — development of the research method, correction of the manuscript, formulation of conclusions; I. V. Sinitsa — formulation of the research problem, development of the research method.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.