

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МАССИВА В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Е. Е. Одинцов, В. Н. Гусев,

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: Существующие гидрогеологические, инструментальные и аналитические способы определения местоположения верхней границы зоны техногенных водопроводящих трещин не позволяют спрогнозировать ее изменение во времени в сложных горно-геологических условиях и с учетом высоких темпов добычи твердых полезных ископаемых. Их применение влечет за собой высокие риски возникновения техногенных аварий. В работе рассмотрен разработанный метод прогноза состояния горного массива на основе закономерностей распределения деформаций в подработанном массиве на примере месторождения твердых полезных ископаемых. Полученные по результатам обработки натурных данных закономерности адаптированы и позволяют выполнить прогноз развития геомеханических параметров с учетом утвержденных планов ведения горных работ, что обеспечивает безопасность работы рудника.

Ключевые слова: горный массив, зона техногенных трещин, геомеханика, безопасность горных работ, сложные горно-геологические условия.

Для цитирования: Одинцов Е. Е., Гусев В. Н. Применение метода прогнозирования состояния массива в сложных горно-геологических условиях // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 3. С. 55-60. DOI: 10.56195/20793332_2024_3_55_60.

APPLICATION OF THE METHOD OF MASSIF CONDITION FORECASTING IN COMPLEX MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

E. E. Odintsov, V. N. Gusev,

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Abstract: The existing hydrogeological, instrumental and analytical methods of determining the location of the upper boundary of the zone of technogenic water-conducting cracks do not allow to predict its change in time in complex mining and geological conditions and taking into account the high rates of solid minerals extraction. Their application involves high risks of technogenic accidents. The developed method of predicting the condition of the rock massif on the basis of regularities of distribution of deformations in the developed massif on the example of solid minerals deposit is considered in the paper. The regularities obtained from the results of processing of field measurements are adapted and make it possible to forecast the development of geomechanical parameters taking into account the approved plans of mining operations, which provides the safety of the mine.

Keywords: rock massif, technogenic cracks zone, geomechanics, mining safety, complicated mining and geological conditions.

For citation: Odintsov E. E., Gusev V. N. Application of the method of massif condition forecasting in complex mining and geological conditions. Surveying and subsoil use. 2024;(3):55-60. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2024_3_55_60.

Актуальность темы основывается на произошедших в последние десятилетия крупных авариях на ряде отечественных и зарубежных горных предприятий, связанных с частичным или полным затоплением горных выработок, разрывом сплошности массива горных пород, а также другими техногенными авариями с большим экономическим ущербом [1].

Геологические и гидрогеологические особенности рассматриваемого месторождения богатых железных руд представляют собой сложный комплекс из семи высоконапорных водоносных горизонтов. Данные горизонты условно разделены на два водоносных комплекса: нижний и верхний, гидравлическая связь между ними значительно затруднена [2, 3]. Это обусловлено наличием мощной толщи аргиллитовид-

ных глин, которая в случае отсутствия нормальносекущих водопроводящих трещин представляет собой надежный водоупор. Защита горных выработок первого слоя обеспечивается сохранением над очистным пространством предохранительного целика, мощностью 65 метров и более.

В качестве утвержденной на предприятии технологической системы разработки применяется слоевая нисходящая с полной закладкой выработанного пространства твердеющим веществом [3]. В данной системе отработанный слой является защитной потолочиной для последующего. Однако ввиду частичной недозакладки выемочного пространства, а также низких крепостных свойств пород в предохранительном целике образуется зона водопроводящих техногенных трещин.

Оценка высоты зоны трещин, а также степени нарушенности массива в операционном режиме позволит создать безопасные условия для отработки рудного тела, а также предупредит обильное попадание воды в горные выработки. В связи с этим разработка способа прогноза и управления развитием техногенных трещин с учетом закономерностей распределения деформаций и планов развития горных работ в подработанном массиве горных пород является весьма актуальной [4, 5].

Цель исследований. Повышение безопасности горных работ, снижение рисков прорывов воды и возникновения аварий при подработке водных объектов на месторождениях твердых полезных ископаемых со сложными горно-геологическими условиями.

Метод прогноза высоты зоны водопроводящих трещин

В разных горно-геологических условиях на месторождениях твердых полезных ископаемых одна из ключевых задач состоит в определении параметра граничной кривизны для данных условий, что включает в себя выявление слоев в отработываемом горном массиве, имеющих кривизну, соответствующую предельной. Данная кривизна слоев характерна для верхней границы зоны проницаемых водой толщ. Определение данного параметра в качестве исходного необходимо для проведения расчетов геометрии техногенной трещиноватости в массиве, включающем водоносные горизонты [6, 7]. Изучения, проведенные для эмпирического определения высоты зоны техногенных нормальносекущих трещин, выявили функциональную зависимость между граничной кривизной и наличием глинистых пород, а также расположением слоев в зависимости от их толщины в эксплуатируемом горном массиве [8]:

$$K_T = c \times K_{T0} \times 10^{-3}, \quad (1)$$

где c — относительный центр распределения слоев по их мощности в подработываемой толще; K_T — граничная кривизна, являющаяся максимальной кривизной на верхней границе зоны водопроводящих трещин; K_{T0} — граничная кривизна, зависящая от содержания глинистых пород.

Исходя из анализа статистических данных зависимость слоя граничной кривизны от наличия в нем глинистых пород представляет собой следующую взаимосвязь:

$$K_{T0} = 0,8 \times e^A \times 10^{-3}, \quad (2)$$

где A — содержание глинистых пород в подработываемой толще; e — основание натурального логарифма.

Из прогнозного метода, основанного на функциях типовых кривых распределения сдвижений и деформаций, и эмпирических данных получена зависимость высоты зоны водопроводящих трещин от кривизны граничного слоя [8]:

$$H_T = 2 \sqrt{\frac{m}{K_2}}, \quad (3)$$

где H_T — высота зоны водопроводящих трещин (ЗВТ); m — вынимаемая мощность пласта; K_2 — граничная кривизна.

Данная методика расчета принята в качестве основной в организациях, выполняющих геомеханическое научное со-

провождение ведения горных работ на месторождениях твердых полезных ископаемых.

Главным преимуществом данного аналитического подхода является возможность оперативного прогнозирования геометрического параметра высоты зоны техногенных водопроводящих трещин на основе имеющихся данных геомеханического мониторинга, а также геологических данных [9]. Недостатком метода является малое число параметров, учитываемых при определении величины граничной кривизны.

Результаты

В результате расчетов данных о сдвигении подработываемых горных пород выявлена взаимная зависимость между параметрами кривизны, наклонов и оседаний в составе массива пород и на поверхности в зоне ведения горных работ [8].

Установлено обратно пропорциональное отношение следующих геометрических величин [8]:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}, \quad (4)$$

где H_1 — расстояние по вертикали от земной поверхности до наблюдаемой горной выработки; H_2 — расстояние от слоя породы в массиве до соответственно кровли наблюдаемой выработки; η_1 — значение наибольшего оседания на земной поверхности; η_2 — наибольшее оседание слоя породы в массиве под землей.

Схема распределения значений максимальных оседаний на поверхности и в массиве представлена на рисунке 1.

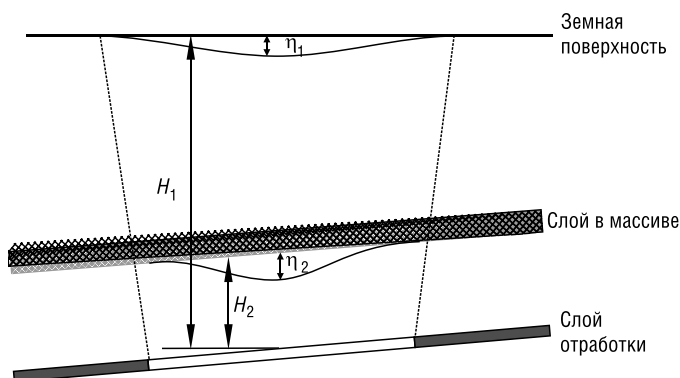


Рис. 1. Схема распределения значений максимальных оседаний на земной поверхности и некоторого слоя в массиве подработанных горных пород (составлено авторами)

Fig. 1. Scheme of distribution of values of maximum subsidence on the ground surface and some layer in the massif of mined rocks [compiled by the authors]

Первая производная от оседаний η_1 и η_2 — наклон в точках η'_1 и η'_2 [8]:

$$\frac{\eta'_1}{\eta'_2} = \frac{H_2}{H_1}. \quad (5)$$

Вторая производная от оседаний η_1 и η_2 — кривизна в точках η''_1 и η''_2 [8]:

$$\frac{\eta''_1}{\eta''_2} = \frac{H_2^2}{H_1^2}. \quad (6)$$

Данные закономерности в совокупности при условии адаптации приведенных выражений (1), (2), (3) к горно-геологическим условиям месторождения позволяют производить оперативный прогноз геомеханических параметров, в том числе рассчитать местоположение ЗВТ.

Известно, что кривизна кривой оседания уменьшается при увеличении расстояния от разрабатываемого пласта. Этот факт хорошо подтверждается зависимостями С. Г. Авершина, которые применимы к некоторым месторождениям твердых полезных ископаемых. Данные геомеханического мониторинга месторождения помогают произвести расчет эмпирического коэффициента, позволяющего рассчитать и прогнозировать высоту ЗВТ с учетом утвержденных планов развития горных работ.

Для дальнейших расчетов за расстояние от поверхности до горизонта -370 м, где проводится отработка, примем среднее значение 605 м (H_1), а за расстояние от слоя отработки до слоя в массиве принято расстояние от кровли горизонта отработки до местоположения подземных реперов, закрепленных на глубине 9 м относительно кровли (H_2).

Рассмотрим данные мониторинга наблюдательных станций на поверхности и под землей, заложенных на удалении 9 м от кровли горизонта -370 м. Их взаимовлияние определя-

лось исходя из принятого положения о том, что сдвигение горных пород происходит по направлению к центру тяжести, отмеченному на рисунке 2 [3].

Данные геодезического мониторинга при первичной подработке представлены в таблице. Значения по подземной наблюдательной станции приведены с отставанием в 19 месяцев от поверхностных, что позволяет говорить о завершенности геомеханических процессов, вызванных первичной выемкой руды.

Таблица 1 / Table 1

Результаты геодезического мониторинга реперов Rp30 и Rp22
Results of geodetic monitoring of Rp30 and Rp22

Дата мониторинга / Monitoring date	Репер / Marker
Репер на поверхности Rp30/ Surface marker	
23.05.2012	231,408
23.07.2012	231,396
23.09.2012	231,375
Подземный репер Rp22/ Underground surveyor	
21.10.2010	-366,985
24.01.2011	-367,024
04.03.2011	-367,068

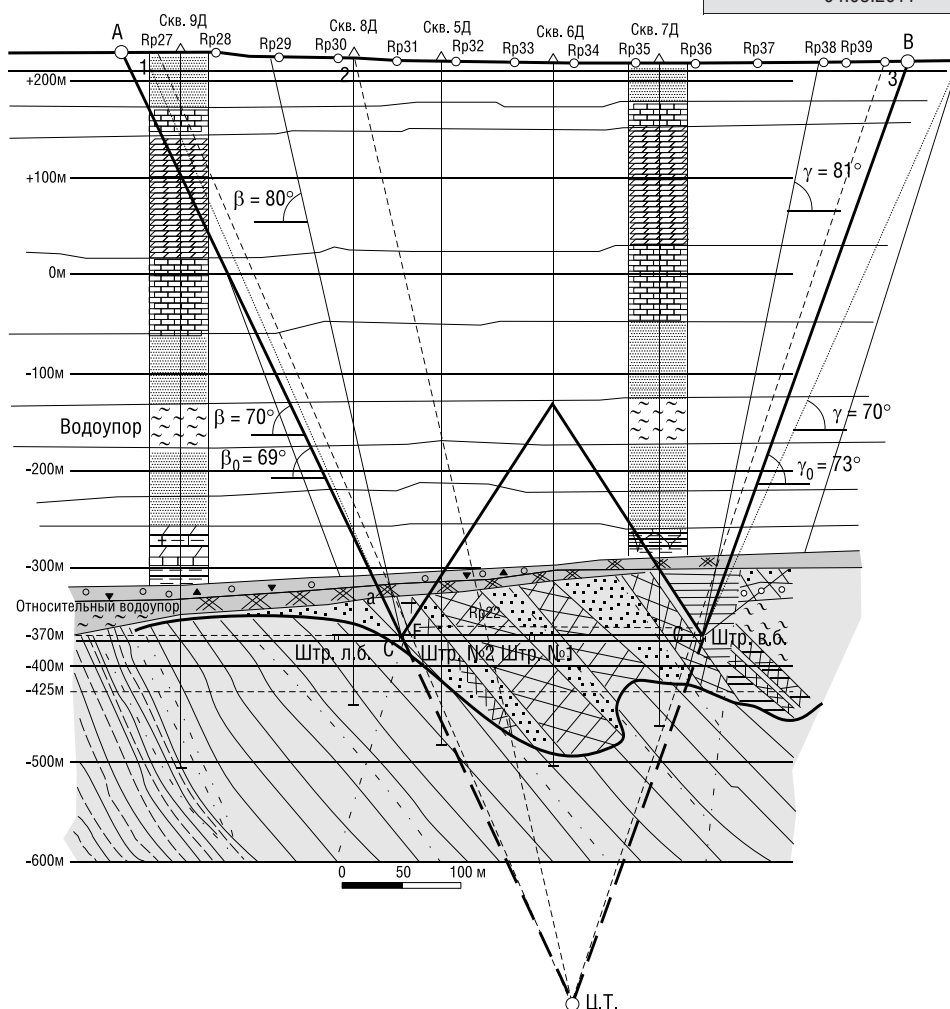


Рис. 2. Схема определения влияния сдвижения подземных реперов по отношению к поверхностным наблюдательным станциям [3]

Fig. 2. Scheme for determining the influence of the displacement of subsurface benchmarks in relation to surface observation stations [3]

Рассчитаем значение степени для репера Rp22, при которой выполняется значение закономерности (3):

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{0,15}. \quad (7)$$

Аналогично выполним расчет для реперов Rp16, Rp17 и Rp18, расположенных в плоскости разреза по профильной линии II. Здесь значения степени варьируются от 0,05 до 0,15. Это обусловлено различием физико-механических свойств пород перекрывающей и рудовмещающей толщи, а также наличием различной степени недозакладки выемочного пространства.

В общем виде закономерность (7) позволяет оценить значения геомеханических параметров в подработанном массиве горных пород рассмотренного месторождения богатых железных руд, а также достаточно точно в условиях непрерывного производства установить местоположение верхней границы зоны водопроводящих трещин.

Обсуждение

В качестве основных трудов в части создания методов оценки параметров зоны водопроводя-

ших трещин, водозащитной толщи, а также создания аналитического подхода и развития представлений процесса сдвижений и деформаций горных пород выделяются работы ученых: С. Г. Авершина, И. М. Бахурина, Б. Я. Гвирицмана, В. Н. Дешковского, Ю. А. Норватова и многих других.

Кроме того, работы [10-12] показывают, что качественное изучение вариаций образований зоны техногенных водопроводящих трещин на протяжении долгих лет является весьма актуальной задачей для повышения безопасности отработки полезного ископаемого [13]. При этом в данном направлении используются разные подходы и методы, позволяющие напрямую или косвенно определить параметры зоны трещиноватости. Используются физические модели месторождения, а также модели механики сплошных и дискретных сред [14-16]. На основе физико-механических свойств горного массива [17], определенных путем проведения лабораторных испытаний, натурных наблюдений и численного моделирования [18], выполняется обоснование модели среды и ее параметров для рассматриваемых горно-геологических условий.

В части эффективности способов определения высоты зоны водопроводящих трещин следует выделить достоверность и точность применения гидрогеологических способов [19-21], получивших широкое применение на месторождениях твердых полезных ископаемых, которые отличаются обилием подрабатываемых водных объектов [22] и высокой

сложностью гидрогеологических условий залегания [23-25]. Однако проведение наблюдений данными способами требует существенных трудозатрат. Кроме того, отрицательным фактором является отсутствие возможности прогнозирования развития высоты зоны водопроводящих трещин в условиях высоких темпов добычи богатых железных руд. Применение существующих способов влечет за собой высокие риски возникновения техногенных аварий.

В связи с этим разработанный способ прогноза развития зон водопроводящих трещин для сложных горно-геологических и гидрогеологических условий месторождений твердых полезных ископаемых является актуальным.

Заключение

В статье представлен метод геомеханического прогноза деформационных параметров массива аналитическим методом, на основе данных мониторинга профильных линий.

Для сложных горно-геологических условий рудника адаптирована закономерность, на основе которой возможно выполнить оперативные расчеты ряда ключевых геомеханических параметров и спрогнозировать параметры высоты зоны водопроводящих трещин в режиме реального времени через установленную закономерность. В совокупности с инструментальными наблюдениями разработанный метод позволит непрерывно получать данные о местоположении верхней границы зоны водопроводящих трещин. Данные позволят обеспечить безопасность ведения горных работ в тяжелых горно-геологических условиях. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору [Сайт]. - URL: <https://www.gosnadzor.ru/> (дата обращения: 21.03.2024).
2. Илюхин, Д. А. Зависимость параметров зон водопроводящих трещин от геологического строения подрабатываемой толщи / Д. А. Илюхин // Маркшейдерско-геодезическое обеспечение рационального использования, охраны недр и строительства сооружений: межвуз. сб. науч. тр. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. - С. 41-46.
3. Малюхина, Е. М. Исследование процессов сдвижения и деформаций горных пород по данным геомеханического мониторинга на Яковлевском руднике / Е. М. Малюхина, В. Н. Гусев // Маркшейдерский вестник. - 2017. - № 5. - С. 64-70.
4. Зубов, В. П. Технологии интенсивной разработки калийных пластов длинными очистными забоями на больших глубинах: актуальные проблемы, направления совершенствования / В. П. Зубов, Д. Г. Сокол // Записки Горного института. - 2023. - Т. 264. - С. 874-885.
5. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами / В. С. Литвиненко, Е. И. Петров, Д. В. Василевская [и др.] // Записки Горного института. - 2023. - Т. 259. - С. 95-111.
6. Esteves Motta, G. New constitutive equation for salt rock creep / G. Esteves Motta, C. L. Lopes Pinto // REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto. - 2014. - Vol. 67, № 4. - 2014. - P. 397-403.
7. ISRM Suggested Methods for Determining the Creep Characteristics of Rock / O. Aydan, T. Ito, U. Ozba [et al.] // Rock Mech Rock Eng. - 2013. - Vol. 47, № 1. - P. 275-290.
8. Гусев, В. Н. Прогноз безопасных условий разработки свиты угольных пластов под водными объектами на основе геомеханики техногенных водопроводящих трещин / В. Н. Гусев // Записки Горного института. - 2016. - Т. 221. - С. 638-643.
9. Шабаров, А. Н. Основные направления развития горнодобывающей отрасли в усложняющихся горнотехнических условиях ведения горных работ / А. Н. Шабаров, А. Д. Куранов // Горный журнал. - 2023. - № 5. - С. 5-10.
10. Physical and numerical investigations of bedding adhesion strength on stratified rock roof fracture with longwall coal mining / Minghe Ju, Dapeng Wang, Jingcheng Shi [et al.] // Geomech. Geophys. Geoenerg. Georesour. - 2021. - Vol. 7. - P. 24.
11. Протосеня, А. Г. Оценка концентрации напряжений вблизи карстовых полостей при разработке рудных месторождений / А. Г. Протосеня, А. В. Веселова, Д. А. Котиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2024. - № 2. - С. 5-22.
12. Барях, А. А. Математическое моделирование развития процесса сдвижения при отработке калийных руд длинными очистными забоями / А. А. Барях, С. Ю. Девятков, Э. Т. Денкевич // Записки Горного института. - 2023. - Т. 259. - С. 13-20.
13. The hight of fractured water-conducting zone in undermined rock strata / Xiexing Miao, Ximin Cui, Jin'an Wang, Jialin Xu // Engineering Geology. - 2011. - Vol. 120. - P. 32-39.
14. Холмский, А. В. Мероприятия по повышению эффективности горных работ на глубоких рудниках / А. В. Холмский, Д. В. Сидоров // Научно-практические исследования сырьевых проблем: Материалы российско-германского сырьевого диалога: Сборник докладов и дискуссионных молодых ученых. - Лондон: CRC Press, 2019. - С. 71-74.

15. Liu, B. Centrifuge investigation of soil - foundation - superstructure interaction under static loading / B. Liu, J. Xue, B. M. Lehane // *Engineering Structures*. - 2023. - Vol. 281. - P. 115779.
16. Investigation of rock salt layer creep and its effects on casing collapse / S. R. Taheri, A. Pak, S. Shad [et al.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. - 2020. - Vol. 30. - P. 357-365.
17. Wan-rong, L. Experimental and numerical study of rock stratum movement characteristics in longwall mining [Электронный ресурс] / L. Wan-rong // *Shock and Vibration*. - 2019. - URL: <https://www.hindawi.com/journals/sv/2019/5041536/> (режим доступа: 21.04.2024).
18. Комплексный подход к обеспечению устойчивости предохранительных столбов при отработке нарезных пластов на Яковлевском месторождении / А. Д. Куранов, И. И. Багаутдинов, Д. А. Котиков [и др.] // *Горный журнал*. - 2020. - № 1. - С. 115-119.
19. Influence of tunnel shape on tunnel lining behavior / T. T. Nguyen, N. A. Do, M. A. Karasev [et al.] // *ICE Proceedings Geotechnical Engineering*. - 2021. - Vol. 174, N 4. - P. 355-371.
20. An analytical solution for the dynamic tunnel-soil-shallow foundation interaction under a harmonic point load / Z. Cao, X. Ba, Z. Yuan [et al.] // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. - 2023. - Vol. 164. - P. 107647.
21. Theoretical analysis on safety thickness of the waterresistant rock mass of karst tunnel face taking into account seepage effect / J. Guo, W. Wu, X. Liu [et al.] // *Geotechnical and Geological Engineering*. - 2022. - Vol. 40. - P. 697-709.
22. Rock mass collapse mechanism of concealed karst cave beneath deep tunnel / F. Huang, L. Zhao, T. Ling [et al.] // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. - 2017. - Vol. 91. - P. 133-138.
23. Zhang, Q. Mechanical mechanism of hydraulic fracturing effect caused by water inrush in tunnel excavation by blasting [Электронный ресурс] / Q. Zhang, J. Wang, L. Feng // *Mathematical Problems in Engineering*. - 2021. - URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/9919260/> (дата обращения: 21.04.2024).
24. Response of building to shallow tunnel excavation in different types of soil / C. Zhao, C. Schmüdderich, N. Barciaga, R. Röchter // *Computers and Geotechnics*. - 2019. - Vol. 115. - P. 103165.
25. Assessment of settlement-based strain in masonry building facade due to tunneling / Y. Jian, C. F. Leung, H. Maosong [et al.] // *Computers and Geotechnics*. - 2022. - Vol. 144. - P. 104658.

REFERENCES

1. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision. Available from: <https://www.gosnadzor.ru/>.
2. Ilyukhin DA. Dependence of parameters of water-conducting crack zones on the geological structure of the mined strata. *Surveyor-geodesic support of rational use, subsoil protection and construction of structures: intergraduate collection of scientific articles*. Novocherkassk, 2012:41-46 (In Russ.).
3. Malyukhina EM, Gusev VN. Investigation of rock shear and deformation processes according to the geomechanical monitoring data at Yakovlevsky mine *Mine Surveyor's Bulletin*. 2017;5:64-70 (In Russ.).
4. Zubov VP, Sokol DG. Technologies of intensive development of potash seams by longwall faces at great depths: current problems, areas of improvement. *Journal of Mining Institute*. 2023;264:874-85 (In Russ.).
5. Litvinenko VS, Petrov EI, Vasilevskaya DV, et al. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:95-111 (In Russ.).
6. Esteves Motta G., Lopes Pinto CL. New constitutive equation for salt rock creep. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*. 2014;67(4):397-403.
7. Aydan O, Ito T, Ozbay U, et al. ISRM Suggested Methods for Determining the Creep Characteristics of Rock. *Rock Mech Rock Eng*. 2013;47(1): 275-90.
8. Gusev VN. Prediction of safe conditions for the development of coal seams under water bodies on the basis of geomechanics of technogenic water-conducting fractures. *Journal of mining institute*. 2016;221:638-43 (In Russ.).
9. Shabarov AN, Kuranov AD. Basic development trends in mining sector in complicating geotechnical conditions. *Mining Magazine*. 2023;(5):5-10. (In Russ.).
10. Minghe Ju, Dapeng Wang, Jingcheng Shi, et al. Physical and numerical investigations of bedding adhesion strength on stratified rock roof fracture with longwall coal mining. *Geomech. Geophys. Geoenerg. Georesour*. 2021;7:24.
11. Protosenya AG, Veselova AV, Kotikov DA. Assessment of stress concentration in neighborhood of karst voids during ore mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull*. 2024;(2):5-22. (In Russ.).
12. Baryakh AA, Devyatkov SY, Denkevich ET. Mathematical modelling of displacement during the potash ores mining by longwall faces. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:13-20 (In Russ.).
13. Xiexing Miao, Ximin Cui, Jin'an Wang et al. The hight of fractured water-conducting zone in undermined rock strata. *Engineering Geology*. 2011;120:32-9.
14. Kholmiskiy AV, Sidorov DV. Measures to improve the efficiency of mining operations at deep mines. Scientific and practical research of raw material problems. Materials of the Russian-German raw material dialog: Collection of reports and discussions of young scientists. London, 2019: 71-4 (In Russ.).
15. Liu B, Xue J, Lehane BM. Centrifuge investigation of soil - foundation - superstruc-ture interaction under static loading. *Engineering Structures*. 2023;281:115779.
16. Taheri SR, Pak A, Shad S, et al. Investigation of rock salt layer creep and its effects on casing collapse. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30:357-65.
17. Wan-rong L. Experimental and numerical study of rock stratum movement characteristics in longwall mining. *Shock and Vibration*. 2019. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/sv/2019/5041536/>
18. Kuranov AD, Bagautdinov II, Kotikov DA, et al. Integrated approach to ensuring the stability of safety pillars during the development of rifled formations at the Yakovlevskoye field. *Mining Journal*. 2020;1:115-19 (In Russ.).

19. Nguyen TT, Do NA, Karasev MA, et al. Influence of tunnel shape on tunnel lining behavior. *ICE Proceedings Geotechnical Engineering*. 2021;174(4):355-71.
20. Cao Z, Ba X, Yuan Z, et al. An analytical solution for the dynamic tunnel-soil-shallow foundation interaction under a harmonic point load. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023;164:107647.
21. Guo J, Wu W, Liu X, et al. Theoretical analysis on safety thickness of the waterresistant rock mass of karst tunnel face taking into account seepage effect. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2022;40:697-709.
22. Huang F, Zhao L, Ling T, et al. Rock mass collapse mechanism of concealed karst cave beneath deep tunnel. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017;91:133-38.
23. Zhang Q, Wang J, Feng L. Mechanical mechanism of hydraulic fracturing effect caused by water inrush in tunnel excavation by blasting. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/9919260/>
24. Zhao C, SchmSchmüdderich C, Barciaga N, et al. Response of building to shallow tunnel excavation in different types of soil. *Computers and Geotechnics*. 2019;115:103165.
25. Jian Y, Leung CF, Maosong H, et al. Assessment of settlement-based strain in masonry building facade due to tunneling. *Computers and Geotechnics*. 2022;144:104658.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Одинцов Егор Евгеньевич:

аспирант,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: odintsovgeorge@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0008-3424-0148

Гусев Владимир Николаевич:

доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой маркшейдерского дела,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: kmd@spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3148-9729

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Odintsov Egor Evgenievich:

PhD student,
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: odintsovgeorge@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0008-3424-0148

Gusev Vladimir Nikolaevich:

Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Head of the Department of Mine Surveying,
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: kmd@spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3148-9729

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Е. Е. Одинцов — выполнение научного обзора методов оценки параметров зоны водопроводящих трещин, проведение мониторинга и анализ натурных данных, адаптация аппроксимированных закономерностей к сложным горно-геологическим условиям месторождения, написание и редактирование текста статьи; В. Н. Гусев — постановка задачи исследования, аппроксимация полученных закономерностей.

Е. Е. Odintsov — scientific review of methods for estimation of water-conducting crack zone parameters, monitoring and analysis of field measurements, adaptation of approximated regularities to complicated mining and geological conditions of the deposit, writing and editing the text of the article; V. N. Gusev — formulation of the research problem, approximation of the obtained regularities.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

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



УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
был создан 3(16) июля 1914 г. в Екатеринбурге.

Факультеты: ГОРНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ (ГМФ),
ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ (ГТФ),
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ (ИЭФ), ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ (ФГиГ).

Контакты : +7 (343) 257-25-47, +7 (343) 283-06-06, e-mail: office@ursmu.ru; rector@ursmu.ru, <http://www.ursmu.ru/sveden/common>



WWW.N-GN.RU