

К ОЦЕНКЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ОБВОДНЕННЫХ ПОРОД

Б. В. Хохлов

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (РАНИМИ), г. Донецк, ДНР, Российская Федерация

Аннотация: В статье дана оценка условий эффективного упрочнения пород для безремонтного поддержания горной выработки, расположенной в обводненном массиве, при креплении ее наиболее распространенной трехзвенной арочной металлической крепью. Определен диапазон глубин и прочностных характеристик горных пород, при которых их упрочнение эффективно. Получен показатель коэффициента упрочнения пород, характеризующий необходимость снижения смещений пород в выработку в тех или иных условиях. Дана оценка эффективности упрочнения пород для обеспечения устойчивости горных выработок, чтобы исключить случаи, когда упрочнение пород не эффективно.

Ключевые слова: обводненный массив горных пород, глубина выработки, сопротивление пород сжатию, упрочнение

Для цитирования: Хохлов Б. В. К оценке условий эффективности упрочнения обводненных пород. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024. №5. С. 85-88. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_85_88.

TO ASSESS THE CONDITIONS FOR THE EFFECTIVENESS OF HARDENING WATERED ROCKS

B. V. Khokhlov

Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, DPR, Russian Federation

Abstract: The article provides an assessment of the conditions for effective rock hardening for the continuous maintenance of a mine work located in a watered massif, while fastening it with the most common three-link arched metal fastener. The range of depths and strength characteristics of rocks at which their hardening is effective is determined. An indicator of the rock hardening coefficient was obtained, characterizing the need to reduce the displacement of rocks into production under certain conditions. An assessment of the effectiveness of rock hardening to ensure the stability of mine workings is given in order to exclude cases when rock hardening is not effective.

Keywords: watered rock mass, depth of excavation, rock resistance to compression, hardening

For citation: Khokhlov B. V. To assess the conditions for the effectiveness of hardening watered rocks. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(5):85-88. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_85_88.

Введение

Как показывает практика, традиционные средства охраны горных выработок, особенно на больших глубинах в обводненных массивах, не всегда обеспечивают безремонтное их поддержание. Работы по упрочнению пород вокруг горных выработок в некоторых случаях позволяют достичь нужного эффекта, хотя проводятся они без должного прогноза эффективности. Результаты проведенного упрочнения массива горных пород вокруг выработки оцениваются по снижению смещений пород на контуре выработки (в абсолютных величинах или в процентах от данных, полученных на контрольных и экспериментальных участках) и принимаются в качестве показателей эффектив-

ности осуществляемых мероприятий, т.е. сначала производится упрочнение горных пород, вкладываются определенные средства, а потом может оказаться, что упрочнение не дало желаемого результата. Правомерность использования таких показателей требует более детальной проработки так как необходим определенный прогноз эффективности подобных мероприятий.

При многократной подработке фильтрационные свойства обводненного деформируемого массива изменяются, и вредные вещества из полигонов ТБО могут попасть в водоносные горизонты, питающие населенные пункты и горные выработки [1]. Единого решения этой проблемы пока нет. Каждая конкретная ситуация требует отдельного подхода,

и поэтому исследования в данном направлении весьма актуальны.

Целью исследования является определение условий, при которых упрочнение горных пород будет приводить к снижению величин смещений пород на контуре выработки.

Объект исследования: процессы деформирования горных пород в горную выработку при упрочнении.

Материал и методы

В работе применялся аналитический метод исследования процессов деформирования горных пород в горную выработку.

На рисунке (Fig.) приведены графики определяющие условия безремонтного поддержания (кривая 1) и одноразового перекрепления выработок (кривая 2), которые соответствуют ожидаемым смещениям пород в выработках, расположенных в массиве [2, 3], при креплении их наиболее распространенными трехзвенными металлическими арками.

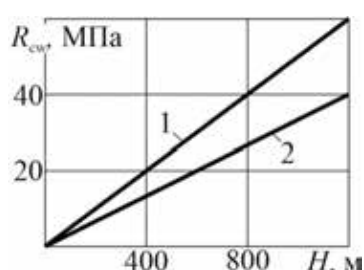


Рис. График условий поддержания выработок: 1 — условия безремонтного поддержания; 2 — условия одноразового перекрепления

Fig. Schedule of conditions for maintaining workings: 1 — maintenance that does not require repair; 2 — one-time repairs

Указанные графики можно представить следующим выражением (1):

$$H = a \cdot R_c, (1)$$

где H — глубина расположения горной выработки, м; a — коэффициент, имеющий для кривых 1 и 2 такие значения: $a_1 = 20$ и $a_2 = 30$; R_c — расчетное сопротивление пород массива сжатию, МПа. Для выработок, расположенных в глинистых породах и глинах (например, в Подмосковном угольном бассейне), величину R_c нужно корректировать умножением на коэффициент влияния естественной влажности и степени пластичности пород k_w , определяемый из выражения (2):

$$k_w = \frac{(W_T - W_e)}{(W_T - W_n)} \cdot (2)$$

где W_T — предел текучести пород, %; W_n — предел пластичности пород, %; W_e — естественная влажность пород, %.

При затоплении массива горных пород, вмещающего горные выработки, условия их поддержания, существенно изменяются. Негативным фактором является ослабление прочности пород околоствольного массива вследствие их обводнения. Данное ослабление учитывается коэффициентом

том k_{wo} , значения которого для различных пород приведены в таблице. При длительном контактировании пород горных выработок с водой (затопление массива, перепуск воды и т.п.) в расчетах применяется расчетное сопротивление пород под влиянием воды R_{cw} в МПа, которое следует определять по формуле (3) [3-16]:

$$R_{cw} = k_{wo} \cdot R_c, (3)$$

где k_{wo} — коэффициент, учитывающий изменение прочностных свойств пород под влиянием воды (Табл.) / (Table).

Значения глубин H между кривыми 1 и 2 определяются выражением (4):

$$a_2 \cdot R_{cw} > H > a_1 \cdot R_{cw}, (4)$$

Таблица / Table

Параметры ослабления обводненных пород Parameters of weakening of watered rocks

Тип пород / Type of rocks	k_{wo}
Песчаники и сланцы кремнистые	0,8
Песчаники известковые и известняки	0,7
Песчаники глинистые и алевролиты	0,6
Аргиллиты и мергели	0,5
Глины	0,4-0,5

В соответствии с выражением (4) устанавливается диапазон глубин H , при котором можно исключить необходимость проведения ремонта выработки при упрочнении пород. Этот диапазон будет неодинаковым для различных прочностных характеристик пород (5):

$$\Delta H = a_2 \cdot R_{cw} - a_1 \cdot R_{cw}, (5)$$

Из формулы (5) получаем показатель K_y , % (6), характеризующий необходимость снижения смещений пород в выработку в тех или иных условиях, который можно представить уравнением:

$$K_y = 100[1 - 10 \cdot R_{cw} / (H - 10 \cdot R_{cw})]. (6)$$

Выводы

Анализируя зависимость (6) можно сделать следующие выводы:

при $H \leq 20 R_{cw}$ нет необходимости в упрочнении пород ($K_y = 0$),

при $H = 30 R_{cw}$ коэффициент $K_y = 50\%$, ведение работ по упрочнению горных пород за пределами диапазона глубины $H > a_2 R_{cw}$ будет эффективным при возможности снижения смещений пород более чем на 50 %. В противном случае возникает необходимость в ремонте выработок.

Таким образом, на основе изложенного можно дать оценку условиям эффективности упрочнения пород для обеспечения устойчивости горных выработок и исключить случаи, когда упрочнение пород не эффективно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Хохлов БВ, Рожко МД, Дрибан ВА. К вопросу определения коэффициента, учитывающего изменение прочности пород обводненных массивов. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2023;10(2):79-82. [Khokhlov BV, Rozhko MD, Driban VA. On the issue of changing the coefficient taking into account the change in the strength of rocks of watered massifs. *Fundamental and applied issues of mining sciences*. 2023;10(2):79-82 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.15372/FPVGN2023100212>.

2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Изд. 4-е, дополненное. Л., 1986. 222 с. [Instructions on the rational location, protection and maintenance of mine workings in the coal mines of the USSR. – Ed. 4th, supplemented. L., 1986. 222 p. (In Russ.)].
3. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Руководящий документ. РАНИМИ. Утв. Приказом Министерства угля и энергетики ДНР № 125 от 15.04.21. Донецк, 2021. 267 с. [Location, protection and maintenance of mine workings during mining of coal seams in mines. Guidance document. Approved by the Ministry coal and energy of the DPR 04/15.21. – Donetsk, 2021 (In Russ.)].
4. Дрибан ВА, Хохлов БВ, Рожко МД, Антипенко АВ. Изменение прочности пород обводненных массивов на примере участка "Ясиновский глубокий". *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов*. 23-27 октября 2023 г. М: ИПКОН РАН, 2023. С. 107-110. [Driban VA, Khokhlov BV, Rozhko MD, et al. Change in the strength of rocks of watered massifs on the example of the Yasinovsky Glubokiy site. *Problems of subsoil development in the XXI century through the eyes of the young*. Materials of the 16th International Scientific School of Young Scientists and Specialists. October 23-7, Moscow: IPCON RAS, 2023:107-10 (In Russ.)].
5. Терлецкий АМ, Рожко МД. Изменение упругих характеристик горных пород при затоплении горных выработок. *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов*. 28 октября-01 ноября 2019 г. М: ИПКОН РАН, 2019. С. 82-85. [Terletsky AM, Rozhko MD. Change in elastic characteristics of rocks during flooding of mine workings. *Problems of subsoil development in the XXI century through the eyes of the young*. Materials of the 14th International Scientific School of Young Scientists and Specialists. October 28-November 01, Moscow: IPCON RAS, 2019:82-5 (In Russ.)].
6. Ревва ВН. Прочностные и деформационные свойства упрочненных горных пород. *Физико-технические проблемы горного производства*. 2004;(7):158-166. [Revva VN. Strength and deformation properties of hardened rocks. *Physico-technical problems of mining production*. 2004;(7):158-66 (In Russ.)].
7. Alexeev AD, Revva VN, Molodetski AV. Stress state effect on the mechanical of coals under true triaxial Compression Conditions. *True Triaxial Testing of Rocks. Geomechanics Series*. 2011;(4):291.
8. Дрибан ВА, Петрушин АГ. Влияние обводненности массива горных пород на НДС при подземной разработке угольных пластов в пространственной постановке задачи. *Труды РАНИМИ: сб. науч. тр.* Донецк, 2022;18-19(33-34):39-81. [Driban VA, Petrushin AG. The influence of the waterlogging of the rock mass around the workings on VAT during underground mining of coal seams in the spatial formulation of the problem. *Proceedings of RANIMI: collection of scientific tr.* 2022;18-19(33-34):39-81 (In Russ.)].
9. Lavrov A. The Kaiser effect in rocks principles and stress estimation techniques. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech.* 2003;40(2):151-71. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00138-7](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00138-7).
10. Бондаренко ЕС, Ефимов ВГ. Гидрогеологические проблемы закрытия угольных шахт. *Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сборник материалов XIV международной научной конференции аспирантов и студентов*. Посвящается Всемирному Дню окружающей среды, 75-летию Победы в Великой Отечественной Войне, Донецк, 14–16 апреля 2020 года. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2020. С. 82-84. [Bondarenko ES, Efimov VG. Hydrogeological problems of closing coal mines. *Environmental protection and rational use of natural resources*. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2020:82-4 (In Russ.)].
11. Laner D, Fellner J, Brunner P. Flooding of municipal solid waste landfills-an environmental hazard. *Science of The Total Environment*. 2009;407(12):3674–80. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.03.006>.
12. Hrad M, Huber-Humer M. Performance and completion assessment of an in-situ aerated municipal solid waste landfill – Final scientific documentation of an Austrian case study. *Waste Management*. 2017;63(1-2):397–409. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.043>.
13. Стулов ПА, Егоров АА, Гавриленко ТВ. Современные технологии создания модели порового пространства горных пород. *Вестник кибернетики*. 2019;1(33):47–54. [Stulov PA, Egorov AA, Gavrilenko TV. Modern technologies for creating a model of the pore space of rocks. *Bulletin of Cybernetics*. 2019;1(33):47-54 (In Russ.)].
14. Меренцов НА, Балашов ВА, Голованчиков АБ. [и др.] Структура фильтрационной кривой и способы ее аппроксимации: Часть 3: Уравнения для аппроксимации фильтрационной кривой. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2021;27(3):401–414. [Merentsov NA, Balashov VA, Golovanchikov et al. The structure of the filtration curve and methods of its approximation. Part 3. Equations for approximating the filtration curve. *Bulletin of the Tambov State Technical University*. 2021;27(3):401-14 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17277/vestnik.2021.03.pp.401-414>.
15. Дрибан ВА, Дуброва НА. Трансформация геологической среды в угледобывающих регионах. *Экологические аспекты горного и перерабатывающего производства: мат-лы VII науч.-техн. конф.* М.: ВНИПИпромтехнологии, 2022:102–112. [Driban VA, Dubrova NA. Transformation of the geological environment in coal-mining regions. *Environmental aspects of mining and processing production: materials of the VII scientific and technical Conf.* VNIPIpromtechnology, 2022:102-12 (In Russ.)].
16. Дрибан ВА, Петрушин АГ. Влияние обводненности массива горных пород вокруг выработок на НДС при подземной разработке угольных пластов в пространственной постановке задачи. *Труды РАНИМИ: сб. науч. тр.* Донецк, 2022;18–19(33–34):39–81. [Driban VA, Petrushin AG. The influence of the waterlogging of the rock mass around the workings on VAT during underground mining of coal seams in the spatial formulation of the problem. *Proceedings of RANIMI: collection of scientific tr.* Donetsk, 2022;18-19(33-34):39-81 (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Хохлов Борис Валентинович —
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, заведующий отделом горного
давления, Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Республиканский академический научно-
исследовательский и проектно-конструкторский
институт горной геологии, геомеханики,
геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк,
ДНР, РФ, e-mail: hbv@bk.ru

ABOUT THE AUTHOR

Boris V. Khokhlov —
Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of Rock
Pressure Department, Republican Academic Research
and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics.
Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk,
DPR, Russian Federation, e-mail: hbv@bk.ru