

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ГОРНЫХ ПОРОД И ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ НА СКОРОСТЬ ИХ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЗАНИЯ

Ю.А. Боровков¹, И.В. Деревяшкин², В.Г. Мерзляков², А.Н. Блудов³

¹ Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ–РГГУ)

² Московский политехнический университет, Москва, Россия, e-mail: div-05@mail.ru

³ Губкинский филиал НИТУ «МИСиС», Губкин, Россия

Аннотация: Приводятся результаты теоретических исследований процесса образования щели в породном массиве непрерывной струей воды под высоким давлением. Установлены основные факторы, влияющие на эффективность резания породы: трещиноватость и пористость горных пород, характеризующиеся коэффициентами структурного ослабления (λ) и проницаемости (k), их соотношением (k/λ) и глубиной разработки (H). Получены свойственные конкретной породе закономерности изменения скорости ее резания в зависимости от глубины разработки и коэффициента структурного ослабления и построены соответствующие графики. Весьма ощутимое воздействие на скорость гидравлического резания породы оказывает ее пористость.

Ключевые слова: гидроотбойка, трещиноватость, глубина разработки, коэффициент проницаемости, коэффициент структурного ослабления, скорость гидравлического раскола, коэффициент проницаемости, породный массив.

Для цитирования: Боровков Ю. А., Деревяшкин И. В., Мерзляков В. Г., Блудов А. Н. Влияние структуры горных пород и глубины разработки на скорость их гидравлического резания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11. – С. 82–90. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_11_0_82.

Effect of structure and mining depth on hydraulic cutting velocity in rocks

Yu.A. Borovkov¹, I.V. Derevyashkin², V.G. Merzlyakov², A.N. Bludov³

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University
(MGRI-RSGPU), Moscow, Russia

² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, e-mail: div-05@mail.ru

³ Gubkin branch of National University of Science and Technology «MISIS», Gubkin, Russia

Abstract: The article presents the theoretical research data on slot cutting in rocks with a high-pressure continuous water jet. The major identified influences on the rock cutting efficiency are the jointing and porosity of rocks, described in terms of the structural weakening coefficient (λ), permeability (k), their ratio (k/λ) and the mining depth (H). The slot cutting velocity patterns subject to the mining depth and the structural weakening coefficient are obtained for the specific types of rocks, and the conformable graphs are constructed. Porosity exerts rather tangible effect on the velocity of hydraulic cutting in rocks.

Key words: hydraulic breaking, jointing, mining depth, permeability, structural weakening coefficient, hydraulic split velocity, rock mass.

For citation: Borovkov Yu. A., Derevyashkin I. V., Merzlyakov V. G., Bludov A. N. Effect of structure and mining depth on hydraulic cutting velocity in rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(11):82-90. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_11_0_82.

Введение

Теория гидравлического резания (скалывания) предусматривает равномерную подачу под струю воды породного массива, которая делает в породе выемку постоянной глубины. Обычно струя с высоким напором (до 1400 атм.) и скоростью порядка 500 м/с бомбардирует плоскость породы под углом θ_0 (рис. 1). Затем струя плавно отклоняется от своего направления по кривой до тех пор, пока угол θ делается равным нулю. В этой точке выемка породы достигает своей конечной глубины h .

Вопрос заключается в определении h в зависимости от скорости подачи породы и ее свойств, а также от параметров струи. Такими параметрами являются: диаметр струи d_0 , общий напор жидкости P_0 , угол наклона θ и плотность жидкости η .

Теория

По кривой траектории струя оказывает на поверхность контакта воды с породой высокое среднее давление p_c . В теоретических работах [1 – 4] было доказано, что необходимое скалывающее усилие потока по поверхности породы при наличии в ней трещин пропорционально разности между p_c и давлением паров воды p_b :

$$\tau = \mu \cdot (p_c - p_b), \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения Кулона-Мора; τ – среднее касательное скалывающее усилие, МПа.

Однако в зависимости от завихрения потока давление p в каждой точке поверхности скалывания может значительно отличаться от среднего значения p_c . Величина среднеквадратичных колебаний давления турбулентного погранич-



Рис. 1. Схема резания породы по глубине при гидростбойке
Fig. 1. Diagram of rock cutting in depth during hydraulic punching

ного слоя потока пропорциональна среднему касательному скальвающему усилию τ :

$$\tau \approx M \cdot \sqrt{(p - p_C)^2}, \quad (2)$$

где M — усредненный коэффициент трения; p — поровое давление внутри породы.

Большое значение имеет высокое усилие для образования трещин в турбулентном пограничном слое. Трещина, заполненная водяным паром, образуется тогда, когда мгновенное давление p_C падает до давления пара p_B . Можно предположить, что величина среднеквадратичных колебаний давления не может превышать некоторого кратного значения разности (M) этих давлений ($p_C - p_B$). Отсюда:

$$\sqrt{(p - p_C)^2} \leq M \cdot (p_C - p_B). \quad (3)$$

Сопоставление уравнений (2) и (3) дает верхнюю границу скальвающего усилия с учетом напряженного состояния массива, паспорта прочности породы и глубины разработки (H). Среднее скальвающее касательное усилие будет:

$$\tau \leq M \cdot (p_C - p_B) = \left(\frac{C}{\gamma H} + tg\varphi \right) \cdot (p_C - p_B) \quad (4)$$

где C — сцепление породы, МПа; γ — удельный вес породы, МН/м³; φ — угол внутреннего трения, град.

В этих выражениях случай равенства относится к очень шероховатой поверхности. Отсюда определяется коэффициент

$$\text{трения: } \mu = \frac{C}{\gamma H} + tg\varphi.$$

В работах [5–8] значение μ , полученное в лабораторных условиях, принято 0,43.

Поскольку струя должна быть относительно тонкой, то d_0 / h представляет собой малую величину, а закон трения и уравнение моментов движения тонкой

струи дают для h простое интегральное выражение:

$$h = 2\mu \cdot d_0 \cdot P_0 \cdot \int \frac{\theta_0 \cdot \exp \mu \cdot (\theta - \theta_0) \cdot \sin \theta}{\tau} d\theta \quad (4)$$

При этом касательное усилие скальвания должно быть достаточным для непрерывного разрушения породы без учета напряженного состояния [9–12]:

$$\tau = C + \mu_1 \cdot (p_C - p),$$

где τ — скальвающее сопротивление при нулевой нагрузке по нормали; μ_1 — коэффициент внутреннего трения размываемой породы; p_C — усилие по нормали, воспринимаемое поверхностью скальвания.

Если диаметр породных зерен под поверхностью резания обозначить через d_3 , то:

$$\tau = C + \mu_1 \cdot d_3 \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial n} \right)_{n=0}, \quad (5)$$

где n — координата по нормали, имеющая внутри породы отрицательное значение.

Уравнения (4) и (5) дают решение вопроса о размере h , если градиент давления по нормали под поверхностью скальвания является функцией угла θ .

Влияние проницаемости и трещиноватости породы выражается в предварительном образовании на поверхности скальвания тонкого слоя, насыщенного водой. Поток внутри насыщенного слоя подчиняется закону Дарси [4].

В работе [13–16] закон Дарси был видоизменен применительно к подвижной среде и представлен в следующем виде:

$$\frac{k}{\eta} \cdot \Delta p = v - u, \quad (6)$$

где v — скорость среды; u — величина потока жидкости, проникающего в трещину; η — плотность жидкости; k — коэффициент проницаемости.

Однако способность породы пропускать жидкость зависит от степени трещи-

новатости породы (коэффициента структурного ослабления λ) [17, 18]. Поэтому закон Дарси для подвижной трещиноватой породы запишется в следующем виде:

$$\frac{k}{\eta} \cdot \Delta p = \lambda v - u.$$

Но поскольку насыщенный слой породы является весьма тонким, то составляющая u , направленная по нормали к скалывающей поверхности близка к нулю, и тогда запишем (рис. 1):

$$\frac{k}{\eta} \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial n} \right)_{n=0} = \lambda v \cdot \sin \theta.$$

Критерий разрушения породы принимает следующий вид с учетом $\mu = \mu_1$:

$$\tau = C + \frac{\eta \cdot \lambda \cdot \mu \cdot d_3}{k} \cdot v \cdot \sin \theta. \quad (7)$$

Теперь указанное выше решение (4) для h можно переписать в виде:

$$h = 2\mu \cdot \frac{d_0 \cdot P_0}{C} \cdot \int \frac{\theta_0 \cdot \exp \mu \cdot (\theta - \theta_0) \cdot \sin \theta}{1 + (v/c) \cdot \sin \theta} d\theta \quad (8)$$

где c — скорость гидравлического резания, свойственная конкретной породе:

$$c = \frac{k \cdot C}{\eta \cdot \lambda \cdot \left(\frac{C}{\gamma H} + tg \varphi \right) \cdot d_3}. \quad (9)$$

Т.о. (9) получаем на основе (4), (7) и (8).

Максимальная объемная скорость разрушения породы может быть представлена следующей формулой:

$$c_{\max} = (hv)_{\max} = \frac{2k \cdot d_0 \cdot P_0}{\eta \cdot \lambda \cdot \left(\frac{C}{\gamma H} + tg \varphi \right) \cdot d_3} \cdot \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{C}{\gamma H} + tg \varphi \right) \cdot \theta_0 \right] \right\} \quad (10)$$

Поскольку коэффициент проницаемости k можно представить как энергию, обусловленную наличием трещиноватости и пористости [19, 20], включение коэффициента структурного ослабления в уравнения (7) – (10) усредняют соответствующие показатели эффективности скалывания для различных горных пород.

Проведем теоретический расчет полученных зависимостей, например, для горно-геологических условий разработки угольных месторождений, опасных по газу и пыли, так как этот метод способствует не только разрушению угля с коэффициентом крепости 1 – 6, но и одновременной дегазации метана и осаждению угольной пыли в забое.

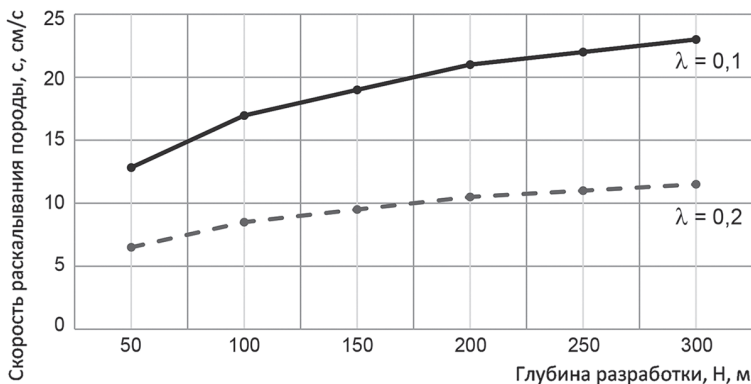


Рис. 2. Графики изменения скорости раскола пород в зависимости от глубины разработки и коэффициента структурного ослабления

Fig. 2. Graphs of the change in the rate of rock splitting from the depth of development and the coefficient of structural weakening:

Для проверки теоретического подхода к гидравлическому раскалыванию горных пород необходимо получить численные показатели зависимости изменения скорости раскалывания от глубины разработки (H) со следующими средними данными по углю: $\sigma_c = 63$ МПа; $\sigma_p = 6,3$ МПа; $C = 9,96$ МПа; $\varphi = 540$; $d_3^p = 0,16$ мм; $k = 0,582$ мД и $\lambda = 0,1 - 0,2$, $P_0 = 100$ МПа, $d_0 = 0,075$ м.

На основании численных данных были построены графики изменения скорости раскола пород в зависимости от глубины разработки и коэффициента структурного ослабления (рис. 2).

Анализируя графики, можно сделать вывод, что с увеличением глубины разработки скорость раскола (резания) угля постепенно возрастает, а при трещиноватости (пористости) пород, характе-

ризуемой коэффициентом структурного ослабления, она уменьшается примерно в 1,5 – 2 раза.

Выводы

В разработанном теоретическом подходе резания пород необходимо учитывать:

1. Трещиноватость и пористость пород, а также глубину разработки пласта (залежи);
2. Коэффициент проницаемости k можно заменить отношением (k/λ), где λ – коэффициент структурного ослабления.
3. Пористость оказывает весьма ощутимое воздействие на скорость гидравлического скалывания, свойственную конкретной породе и определяемую по уравнению (9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норель Б. К., Петров Ю. В., Селютин Н. С. Энергетические и временные характеристики предельного состояния горных пород. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2018. – 132 с.
2. Норель Б. К., Боровков Ю. А., Мальский К. С. Теоретический подход к разработке модели массива неоднородных горных пород в объемном напряженном состоянии около подземной выработки // Journal of Advances In development Of engineering Technology. 2020, vol. 2, no. 2, pp. 9 – 12. DOI: 10.24412/2181-1431-2020-2-9-15.
3. Zairov Sh. Sh., Urinov Sh. R., Tukhtashev A. B., Borovkov Y. A. Laboratory study of parameters of contour blasting in the formation of slopes of the sides of the career // Technical Science and Innovation. 2020, vol. 2020, no. 3, pp. 81 – 90. DOI: 10.51346/tstu-01.20.3-77-0078.
4. Норов Ю. Д., Боровков Ю. А., Деревяшкин И. В., Якшибаев Т. М. Исследования по определению оптимального размера куска руды для кучного выщелачивания золота в многоярусном рудном штабеле // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 2. – С. 172 – 180. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-172-180.
5. Деревяшкин И. В., Садыков А. А. Научное обоснование способа промышленной добычи янтаря, предотвращающего его измельчение в забое // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 81 – 93. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-81-93.
6. Мерзляков В. Г., Деревяшкин И. В., Бойкова И. Е., Толмачев А. И. Разрушение угля и горных пород высокоскоростными струями воды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 4. – С. 140 – 156. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-4-0-140.
7. Норель Б. К. Разделение предельного состояния зон энергетических параметров в массиве пород вблизи выработок / XXV Всероссийский семинар с международным участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям. – СПб., 2018. – С. 184 – 185.
8. Петров Ю. В., Норель Б. К., Азаренко В. А. Анализ изменения механических состояний горных пород под действием объемного напряженного состояния / II-я Междуна-

родная школа им. К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». — М., 2016. — С. 123–126.

9. Махмудов А. М., Махмудов Ш. А., Курбонов О. М. Повышение энергетических характеристик низкооборотных приводов погружных насосов на рудниках подземного выщелачивания // Горный вестник Узбекистана. — 2015. — № 3. — С. 49–53.

10. Махмудов А. М., Курбонов О. М., Сафарова М. Д. Технические решения по совершенствованию монтажно-демонтажных работ погружных насосных агрегатов в условиях рудников ПВ // Горный вестник Узбекистана. — 2020. — № 3. — С. 9–12.

11. Курбонов О. М., Полвонов Н. О. Исследование откачки продуктивных растворов эрлифтами в геотехнологическом руднике // Актуальные вопросы развития территорий: теоретические и прикладные аспекты. — 2016. — № 5. — С. 21–25.

12. Голик В. И., Шурыгин Д. Н., Логачев А. В. Комбинированное погашение выработанного пространства при подземной добыче руд // Маркшейдерия и недропользование. — 2020. — № 6(110). — С. 22–32.

13. Makhmudov A., Kurbonov O. M., Safarova M. D. Research of the pressure characteristics of the centrifugal water drainage plant of the WCP 25-60G brand // Australian Journal of Science and Technology. 2020, vol. 4, no. 2, pp. 279–282.

14. Kurbonov O. M. Improvement of installation and dismantling of submersible pump units in the conditions of underground leach mines // Australian Journal of Science and Technology. 2020, vol. 4, no. 4, pp. 363–367.

15. Kurbonov O. M. Method and device for improving the utilization and operating efficiency of submersible pumping equipment // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2021, vol. 9, no. 3, pp. 211–216. DOI: 10.30534/ijeter/2021/10932021.

16. Заиров Ш. Ш., Равшанова М. Х., Таджиев Ш. Т., Нуриддинов Ф. А. Анализ теории и практики разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом // Горный вестник Узбекистана. — 2017. — № 2. — С. 26–30.

17. Ермолович Е. А., Овчинников А. В. Влияние температуры на физико-механические характеристики мела // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 2. — С. 52–61.

18. Ермолович Е. А., Овчинников А. В. Влияние теплового поля на упругие характеристики мела в состоянии максимального водонасыщения / Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы 14-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Т. 2. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. — С. 156–160.

19. Ермолович Е. А., Овчинников А. В. Влияние влажности на плотность и упругие характеристики мела / Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. Сборник материалов 14-го Международного симпозиума. — Белгород, 2019. — С. 225–230.

20. Ермолович Е. А., Овчинников А. В. Исследование влияния теплового поля на механические характеристики мела при полной влагоемкости // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2019. — № 2. — С. 309–320. **ИДБ**

REFERENCES

1. Norel' B. K., Petrov Yu. V., Selyutina N. S. *Energeticheskie i vremennye kharakteristiki predel'nogo sostoyaniya gornykh porod* [Energy and time characteristics of the limit state of rocks], Saint-Petersburg, Izd-vo SPbGU, 2018, 132 p.

2. Norel B. K., Borovkov Yu. A., Malsky K. S. A theoretical approach to the development of a model of an array of heterogeneous rocks in a volumetric stressed state near an underground mine. *Journal of Advances Indevelopment Ofengineering Technology*. 2020, vol. 2, no. 2, pp. 9–12. DOI: 10.24412/2181-1431-2020-2-9-15.

3. Zairov Sh. Sh., Urinov Sh. R., Tukhtashev A. B., Borovkov Y. A. Laboratory study of parameters of contour blasting in the formation of slopes of the sides of the career. *Technical Science and Innovation*. 2020, vol. 2020, no. 3, pp. 81 – 90. DOI: 10.51346/tstu-01.20.3-77-0078.

4. Norov Yu. D., Borovkov Yu. A., Derevyashkin I. V., Yakshibaev T. M. Optimization of grain size for heap leaching of gold ore in multi-level stockpiles *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 2, pp. 172 – 180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-172-180.

5. Derevyashkin I. V., Sadykov A. A. Scientific justification of commercial amber production without crushing in work face. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 81 – 93. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-81-93.

6. Merzlyakov V. G., Derevyashkin I. V., Boykova I. E., Tolmachev A. I. Coal and rock fracturing by high-velocity water jets. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 4, pp. 140 – 156. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-4-0-140.

7. Norel B. K. Separation of the limiting state of energy parameter zones in the rock mass near the workings. *XXV Vserossiyskiy seminar s mezhdunarodnym uchastiem po struynym, otryvnyim i nestatsionarnym techeniyam* [XXV All-Russian Seminar with International Participation on Jet, Tear-off and Non-stationary Flow], Saint-Petersburg, 2018, pp. 184 – 185. [In Russ].

8. Petrov Yu. V., Norel B. K., Azarenko V. A. Analysis of changes in mechanical states of rocks under the influence of volumetric stress state. *II-ya Mezhdunarodnaya shkola im. K.N. Trubetskogo «Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya i sokhraneniya zemnykh nedr»* [K.N. Trubetskoy II International School «Problems and prospects of integrated development and conservation of the Earth's interior»], Moscow, 2016, pp. 123 – 126. [In Russ].

9. Makhmudov A. M., Makhmudov Sh. A., Kurbonov O. M. Increasing the energy characteristics of low-speed drives of submersible pumps at underground leaching mines. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2015, no. 3, pp. 49 – 53. [In Russ].

10. Makhmudov A. M., Kurbonov O. M., Safarova M. D. Technical solutions for improving the installation and dismantling of submersible pumping units in the conditions of PV mines. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2020, no. 3, pp. 9 – 12. [In Russ].

11. Kurbonov O. M., Polvonov N. O. Investigation of pumping of productive solutions by airlifts in a geotechnological mine. *Aktual'nye voprosy razvitiya territoriy: teoreticheskie i prikladnye aspekty*. 2016, no. 5, pp. 21 – 25. [In Russ].

12. Golik V. I., Shurygin D. N., Logachev A. V. Combined repayment of the worked-out space during underground ore mining. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2020, no. 6(110), pp. 22 – 32. [In Russ].

13. Makhmudov A., Kurbonov O. M., Safarova M. D. Research of the pressure characteristics of the centrifugal water drainage plant of the WCP 25-60G brand. *Australian Journal of Science and Technology*. 2020, vol. 4, no. 2, pp. 279 – 282.

14. Kurbonov O. M. Improvement of installation and dismantling of submersible pump units in the conditions of underground leach mines. *Australian Journal of Science and Technology*. 2020, vol. 4, no. 4, pp. 363 – 367.

15. Kurbonov O. M. Method and device for improving the utilization and operating efficiency of submersible pumping equipment. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2021, vol. 9, no. 3, pp. 211 – 216. DOI: 10.30534/ijeter/2021/10932021.

16. Zairov Sh. Sh., Ravshanova M. Kh., Tajiev Sh. T., Nuriddinov F. A. Analysis of theory and practice of development of mineral deposits by open method. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2017, no. 2, pp. 26 – 30. [In Russ].

17. Ermolovich E. A., Ovchinnikov A. V. The effect of temperature on the physico-mechanical characteristics of chalk. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 2, pp. 52 – 61. [In Russ].

18. Ermolovich E. A., Ovchinnikov A. V. The influence of the thermal field on the elastic characteristics of chalk in the state of maximum water saturation. *Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki. Materialy 14-y Mezhdunarodnoy konferentsii po problemam gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki*.

T. 2 [Socio-economic and environmental problems of mining, construction and energy: proceedings of the 14th International Conference on Mining, Construction and Energy, Vol. 2], Tula, Izd-vo TulGU, 2018, pp. 156 – 160. [In Russ].

19. Ermolovich E. A., Ovchinnikov A. V. The influence of humidity on the density and elastic characteristics of chalk. *Osvoenie mestorozhdeniy mineral'nykh resursov i podzemnoe stroitel'stvo v slozhnykh gidrogeologicheskikh usloviyakh. Sbornik materialov 14-go Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Development of mineral resources and underground construction in difficult hydrogeological conditions. Collection of materials of the 14th international symposium], Belgorod, 2019, pp. 225 – 230. [In Russ].

20. Ermolovich E. A., Ovchinnikov A. V. Investigation of the influence of the thermal field on the mechanical characteristics of chalk at full moisture capacity. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2019, no. 2, pp. 309 – 320. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боровков Юрий Александрович – Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор,

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГУ), e-mail: bua_51@mail.ru,

*Деревяшкин Игорь Владимирович*¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: div-05@mail.ru,

*Мерзляков Виктор Георгиевич*¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: vgm458@mail.ru,

Блудов Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент, e-mail: bik029@mail.ru,

Губкинский филиал НИТУ «МИСиС»,

¹ Московский политехнический университет.

Для контактов: Деревяшкин И.В., e-mail: div-05@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu.A. Borovkov, Honored Scientist of Russian Federation, Dr. Sci. (Eng.),

Professor, e-mail: bua_51@mail.ru, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia,

*I.V. Derevyashkin*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: div-05@mail.ru,

*V.G. Merzlyakov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: vgm458@mail.ru,

A.N. Bludov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Gubkin branch

of National University of Science and Technology «MISiS», 309186, Gubkin, Russia, e-mail: bik029@mail.ru,

¹ Moscow Polytechnic University, 107023, Moscow, Russia.

Corresponding author: I.V. Derevyashkin, e-mail: div-05@mail.ru.

Получена редакцией 16.05.2023; получена после рецензии 27.09.2023; принята к печати 10.10.2023.

Received by the editors 16.05.2023; received after the review 27.09.2023; accepted for printing 10.10.2023.

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ВЫСОКОМЕХАНИЗИРОВАННЫХ
КРУГЛОГОДИЧНЫХ РОССЫПНЫХ ШАХТ КРИОЛИТОЗОНЫ**

(№ 1267/11-23 от 26.09.2023; 16 с.)

Марков Валерий Степанович — канд. техн. наук, доцент, e-mail: marko-valeri@mail.ru, Горный институт, Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, ORCID ID: 0009-0004-6469-4141,

Мостахов Айтал Сергеевич — инженер, АО «Алмазы Анабара», e-mail: aytalmoctakhov95@gmail.com,

*Хохолов Юрий Аркадьевич*¹ — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: khokholov@igds.ysn.ru, ORCID ID: 0000-0002-9510-3808,

*Киселев Валерий Васильевич*¹ — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
¹ Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.

Обоснована целесообразность вторичного освоения техногенных, остаточно-целиковых, глукбокопребенных, многолетнемерзлых, золотороссыпных месторождений Северо-Востока РФ и строительства крупных высокомеханизированных шахт работающих в долговременном, круглогодичном режиме с минимальным энергопотреблением, в том числе для вентиляции и регулирования теплового режима. Разработан способ регулирования теплового режима механизированных, круглогодичных россыпных шахт криолитозоны. Для формирования оптимальной вентиляционной сети предложено проведение специальных теплоаккумулирующих выработок, где в результате теплообмена воздуха подаваемого для вентиляции по высокольдистому породному массиву происходит интенсивное охлаждение воздуха в летнее время. С применением метода математического моделирования проведены расчеты значений температур воздуха проходящего через теплоаккумулирующие выработки (ТВ). ТВ можно использовать в зимний период эксплуатации шахты, обеспечивая подогрев холодного вентиляционного воздуха до санитарно-гигиенических норм условий труда горнорабочих.

Ключевые слова: криолитозона, россыпные шахты, многолетнемерзлый породный массив, теплообмен, тепловой режим, теплоаккумулирующие выработки, вентиляционные скважины, очистной забой.

**REGULATION OF THERMAL CONDITIONS OF HIGHLY MECHANIZED
YEAR-ROUND PLACER MINES OF CRYOLITHIC ZONE**

V.S. Markov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Mining Institute, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia, e-mail: marko-valeri@mail.ru, ORCID ID: 0009-0004-6469-4141,

A.S. Mostakhov, Engineer, AO «Diamonds Anabara», Yakutsk, Russia, e-mail: aytalmoctakhov95@gmail.com,

*Yu.A. Khokholov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, e-mail: khokholov@igds.ysn.ru, ORCID ID: 0000-0002-9510-3808,

*V.V. Kiselev*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

¹ N.V. Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia.

The article justifies the feasibility of secondary development of man-made, residual-whole, deep-crumbed, permafrost, ash and gravel deposits in the North-East of the Russian Federation and the construction of large highly mechanized mines operating in a long-term, year-round mode with minimal energy consumption, including for ventilation and regulation of the thermal regime. The authors have developed a method for regulating the thermal regime of mechanized, year-round placer mines of cryolithic ozone. To form an optimal ventilation network, it is proposed to carry out special heat-accumulating workings, where as a result of heat exchange of air supplied for ventilation through a high-latitude rock massif, intensive air cooling occurs in summer. With the use of the mathematical modeling method, calculations of the air temperatures passing through the heat storage passages were carried out. It is noted that heat-storage mines can also be used in the winter period of the mine operation, providing heating of cold ventilation air to sanitary and hygienic standards of working conditions for miners.

Key words: cryolithozone, placer shafts, permafrost rock mass, heat exchange, thermal mode, heat accumulating workings, ventilation wells, treatment face.

