

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОРОДНОГО МАССИВА НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА ПО ДАННЫМ ТЕЛЕМЕТРИИ БУРОВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

К.Н. Залевская, А.Е. Кирков,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация: В статье приведены результаты предварительной оценки качества массива горных пород в пределах буровзрывного блока на базе анализа данных телеметрии скважин при планировании добычных работ. По данным моделирования блока БВР установлены корреляционные связи между параметрами бурения скважин — скоростью бурения, крутящим моментом и усилием подачи, позволяющие предварительно оценить степень его структурной нарушенности для совершенствования и оптимизации схемы ведения взрывных работ при разработке угольных месторождений Кузбасса, а также прогнозирования интенсивности возможного пылеобразования еще на начальной стадии производства взрывных работ.

Ключевые слова: угольный разрез, буровзрывные работы, параметры бурения, телеметрия скважин, структурная нарушенность, трещиноватость массива, открытая разработка, прогноз пылеобразования.

Благодарность, финансирование: Исследования проведены в рамках мероприятия № 1 Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 года № 1144-р, и соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидии в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.

Для цитирования: Залевская К. Н., Кирков А. Е. Оценка качества породного массива на угольных разрезах Кузбасса по данным телеметрии буровзрывных скважин // Маркшейдерия и недропользование. 2023. №6. С. 13-17.
DOI: 10.56195/20793332_2023_6_13_17.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE ROCK MASS AT THE KUZBASS COAL MINES ACCORDING TO THE TELEMETRY DATA OF DRILLING AND BLASTING WELLS

K.N. Zalevskaya, A.E. Kirkov,

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract: The article presents the results of preliminary assessment of rock mass quality within a drilling and blasting block based on the analysis of well telemetry data during planning mining operations. According to the modeling data of the Block, correlation relations between the variable parameters of borehole drilling — drilling speed and torque — are established, which allow preliminary estimating the degree of its structural disturbance to improve and optimize the blasting scheme for the development of coal deposits in Kuzbass, as well as predicting the intensity of possible dust formation at the initial stage of blasting.

Keywords: drilling parameters, borehole telemetry, coal section, structural disturbance, fracturing, open pit mining, drilling and blasting, dust formation prediction.

Gratitude, funding: The research was carried out within the framework of event No. 1 of the Comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle, approved by order of the Government of the Russian Federation of May 11, 2022 No. 1144-r, and an agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with paragraph 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation No. 075-15-2022-1185 dated September 28, 2022.

For citation: Zalevskaya K.N., Kirkov A.E. Assessment of the quality of the rock mass at the Kuzbass coal mines according to the telemetry data of drilling and blasting wells. Surveying and subsoil use. 2023;(6): 13-17.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2023_6_13_17.

В настоящее время при разработке угольных месторождений открытым способом основными источниками пылеобразования являются технологические процессы добычи сырья, связанные с производством буровзрывных, а также ведением погрузочных и транспортных работ. Известно, что на долю взрывных работ, экскавацию и транс-

портирование горной массы в сумме приходится 60-80% от общего количества частиц мелкодисперсной пыли, загрязняющих атмосферу и недра Земли [1-3]. Особенно остро проблема загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами стоит в регионе добычи угля в пределах крупнейшего угольного бассейна Кузбасса. Частичное решение такой мас-

штабной задачи по снижению экологической нагрузки от деятельности угольной промышленности возможно за счет совершенствования параметров технологических процессов добычи полезного ископаемого в части ведения и производства взрывных работ на основании предварительной оценки качества взрывающегося породного массива по данным телеметрии буровзрывных скважин.

Оценка структурной нарушенности и качественных характеристик вмещающего породного массива на угольных разрезах является важной частью деятельности по планированию открытых горных работ и позволяет разработать более точные схемы ведения буровзрывных работ для повышения не только эффективности добычи полезного ископаемого, но и возможности прогнозирования интенсивности пылеобразования еще на стадии обоснования и расчета параметров взрывных работ в пределах взрывающегося блока.

На эффективность буровзрывных работ при открытом способе разработке угольных пластов влияют различные геолого-структурные и геомеханические факторы, такие как геологическое строение массива, физико-механические характеристики горных пород (коэффициент крепости и плотность), а также характеристика трещиноватости массива вмещающих пород, обусловленная количеством структурных нарушений и их ориентацией, т.е. наличием естественных или механических трещин, пустот и т.д. В этой связи при обосновании конструкции взрыва для конкретного участка добычи необходимо предварительно проводить оценку и учитывать степень влияния этих факторов на параметры буровзрывных работ для достижения оптимальной крупности кусков взорванных горных пород и своевременного прогнозирования интенсивности выбросов и перемещения мелкодисперсных частиц при производстве взрыва на угольном разрезе.

Цель исследования

Оценка качества породного массива на угольных разрезах Кузбасса по данным телеметрии буровзрывных скважин.

Методология исследования

К числу актуальных и перспективных методов оценки трещиноватости породного массива на сегодняшний момент относится мониторинг параметров бурения буровзрывных скважин в реальном режиме времени (Measurement-while-Drilling (MWD)) [4-9]. Полученные сведения о массиве горных пород по данным телеметрии скважин являются дополнительным инструментом для определения качественных характеристик породного массива и позволяют предварительно оценить степень его структурной неод-

нородности и трещиноватости для совершенствования и оптимизации схемы ведения взрывных работ при разработке угольных месторождений.

Структура полученных данных по телеметрии буровзрывных скважин в пределах взрывающегося блока на одном из угольных разрезов Кузбасса представлена в виде XML-файла, в котором указаны следующие показатели параметров бурения (рис. 1):

- ✦ AirPressure, psi (Давление воздуха, 1 psi = 6.9 КПа);
- ✦ DigPressure, psi (Усилие подачи, 1 psi = 703.07 кгс/м²);
- ✦ RotationalSpeed, rpm (Частота вращения, об/мин);
- ✦ Torque, lbf-ft (Крутящий момент, 1 lbf-ft = 1.3558 Н×м);
- ✦ Speed_Drilled, m/min (Скорость бурения, м/мин).

Снятие телеметрических показателей бурения буровзрывных скважин, глубиной от 15,8 до 16,8 м проводилось в среднем через каждые 0,5 м. Контур взрывающегося блока северо-западного юго-восточного простирания с фактическим положением скважин представлен на рис. 2. Не все данные телеметрии скважин БВР были использованы для последующей статистической обработки исследуемых параметров бурения вмещающих пород угольного разреза, поскольку, как правило, первые несколько метров скважин представлены рыхлыми и сильно нарушенными взрывными работами горными породами и не показывают достоверные результаты, свидетельствующие о качественных характеристиках массива в фактическом его состоянии, что в дальнейшем будет показано на блочной модели массива вмещающих пород.

Вмещающие породы в пределах исследуемого блока были представлены алевролитами, преимущественно, полевошпатово-кварцевые с карбонатным и глинистым цементом, а также аргиллитами в виде тонких прослоев среди алевролитов. Минерализованные породы встречаются в толще песчаников и алевролитов в виде прослоев небольшой мощности (от 1 до 25 см) и отличаются большим удельным весом и крепостью. В целом, вмещающая толща в геологическом строении достаточно однородная, коэффициент крепости горных пород по шкале М.М. Протоджанова составляла 8-10,5.

Широко известно, что именно на основе параметров скорости бурения, крутящего момента, усилия подачи были получены данные о корреляции между рабочими параметрами бурения и пределами прочности на растяжение и прочностью на сдвиг [10-15]. Таким образом, частота вращения и давление воздуха являются по сути контролируемыми параметрами при бурении буровзрывных скважин, которые поддерживаются как постоянная величина на всем интерва-

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Project ProjectID="30-05-23-36" DateBegin="" DateEnd="">
  <Blocks>
    <Block BlockID="30-05-23-36">
      <Points>
        <Point X="61045" Y="44135" Z="0"/>
        <Point X="61160" Y="44135" Z="0"/>
        <Point X="61160" Y="44190" Z="0"/>
        <Point X="61045" Y="44190" Z="0"/>
      </Points>
      <Wells>
        <Well WellID="1" Depth="16.1230079" X="61136.124149566196" Y="44226.65542453288" Z="143.96731662574575" DX="8.587353998307802e-16" DY="4.871671325806928e-16" DZ="0.2000000029882322"
          RigID="91" DriverID="143">
            <Params Depth="0.5238094329833984" AirPressure="71" DigPressure="923" RotationalSpeed="148" Torque="1025" Speed_Drilled="11.34188522412939"/>
            <Params Depth="1.0476188659667969" AirPressure="72" DigPressure="715" RotationalSpeed="146" Torque="1134" Speed_Drilled="3.2191504638946946"/>
            <Params Depth="1.5476188659667969" AirPressure="72" DigPressure="1348" RotationalSpeed="147" Torque="1287" Speed_Drilled="2.3279273686640975"/>
            <Params Depth="2.047618865966797" AirPressure="72" DigPressure="1607" RotationalSpeed="147" Torque="1259" Speed_Drilled="1.942627727773101"/>
            <Params Depth="2.5714282989501953" AirPressure="72" DigPressure="1655" RotationalSpeed="147" Torque="1512" Speed_Drilled="1.849827308946669"/>
            <Params Depth="3.0952377319335938" AirPressure="72" DigPressure="1622" RotationalSpeed="147" Torque="1280" Speed_Drilled="1.9097384486761807"/>
            <Params Depth="3.619047164916992" AirPressure="72" DigPressure="1532" RotationalSpeed="148" Torque="1167" Speed_Drilled="1.9099166755809481"/>
            <Params Depth="4.119047164916992" AirPressure="73" DigPressure="1543" RotationalSpeed="147" Torque="1255" Speed_Drilled="1.881703568964436"/>
            <Params Depth="4.619047164916992" AirPressure="73" DigPressure="1898" RotationalSpeed="147" Torque="1683" Speed_Drilled="1.766056396067581"/>
            <Params Depth="5.142856597900391" AirPressure="73" DigPressure="1328" RotationalSpeed="147" Torque="1173" Speed_Drilled="2.0328956001943017"/>
          </Well>
        </Wells>
      </Block>
    </Blocks>
  </Project>

```

Рис. 1. Структура файла с данными телеметрии процесса бурения буровзрывных скважин / Fig. 1. Structure of the file with telemetry data of drilling and blasting drilling process

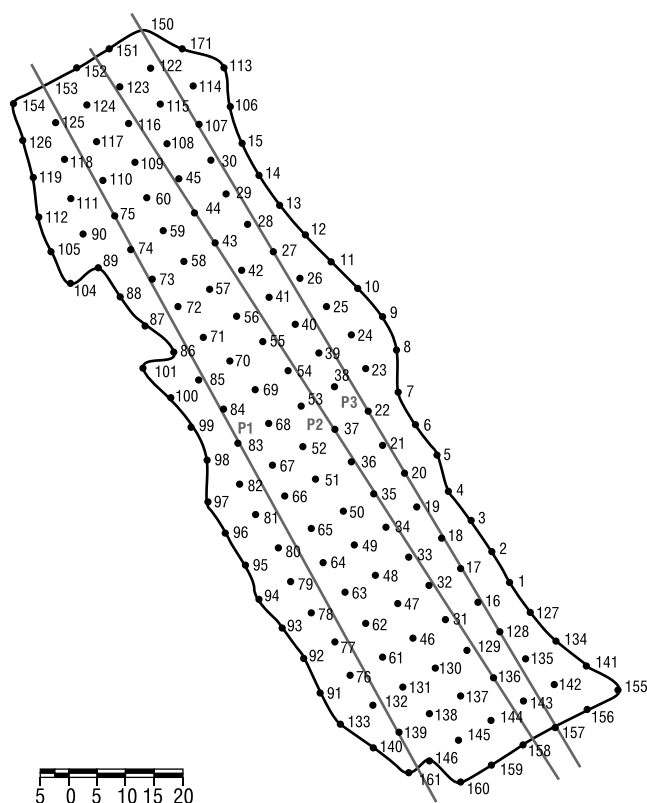


Рис. 2. Фактическое положение скважин буровзрывного блока №30-05-23-36 по данным телеметрии /

Fig. 2. Actual position of wells of drilling and blasting block №30-05-23-36 according to telemetry data

ле проходки скважин. В связи с этим для оценки качества и интенсивности трещиноватости породного массива в пределах блока БВР на угольном разрезе Кузбасса были обработаны и интерпретированы данные о скорости бурения и крутящего момента, которые и отражают реакцию на контакте

горная порода-долото, зафиксированную датчиками на буровом станке. Статистическая обработка показателей скорости бурения и крутящего момента по данным 161 буровзрывной скважины представлена на рис. 3.

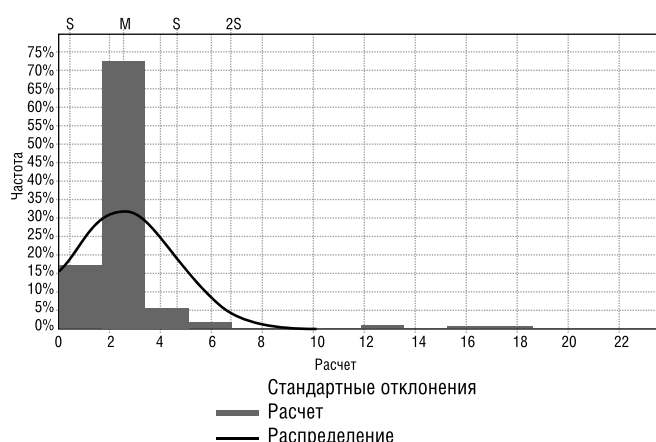
Согласно статистической обработке данных телеметрии, скорость бурения при проходке скважин в объеме буровзрывного блока меняется в широких пределах и достигает своего максимального значения — 21,07 м/мин, при среднем значении равном 2,5 м/мин. Показатели крутящего момента характеризуются наибольшим разбросом значений — от 339 до 2924 Н·м, при среднем значении 1428 Н·м.

Основные результаты и их обсуждение.

С целью оценки пространственной изменчивости исследуемых параметров бурения буровзрывных скважин изменения скорости бурения была построена блочная модель блока БВР в программе ГИС Micromine, в которую интерполировались значения измеренных показателей телеметрии — скорости бурения и крутящего момента и усилие подачи (рис. 4, см. цветную вклейку стр. 25). По итогам блочного моделирования данных по изменению скорости бурения буровзрывных скважин установлено, что в пределах первых нескольких метров вмещающих пород от поверхности скорость проходки превышает 3,2 м/мин, а по глубине массива она остается практически неизменной (рис. 4а, см. цветную вклейку стр. 25).

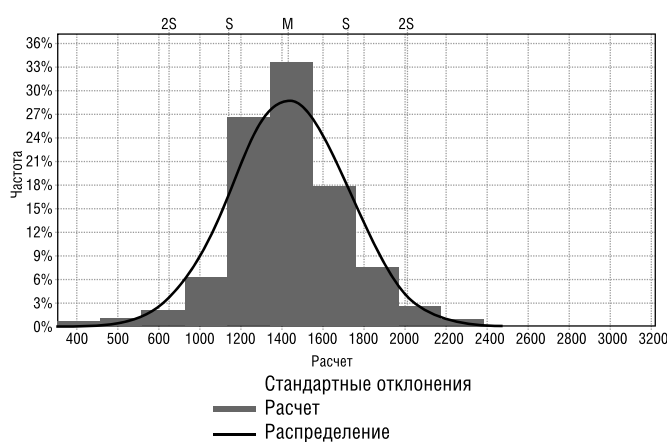
На основе анализа параметров телеметрии буровзрывных скважин получены следующие выводы, позволяющие косвенно заключить, что качественные характеристики массива вмещающих пород угольного разреза Кузбасса в пределах одного блока меняются:

1. Скорость бурения характеризуется небольшим разбросом значений и остается практически неизменной вдоль скважин за исключением приповерхностной зоны блока БВР, что дополнительно связано с повышенной степенью разрыхления и дробления пород вблизи поверхности.



Расчет		Среднее	2,501	Геометрическое среднее	1,911
Минимальная величина	0,000	Дисперсия	4,442	Геометр. std. откл.	2,518
Максимальная величина	21,071	Стандартное отклонение	2,108	Оценка Сигмалы	2,927
2-е наибольшее	20,084	Козф. вариации	0,843	V Сигмалы	0,853
3-е наибольшее	19,683	Медиана	2,156	Гамма Сигмалы	1,532
4-е наибольшее	18,309	Логнорм. среднее	0,647	Экспериментальный Chi ²	5457,904
Кол-во	4951	Логнорм. std. откл.	0,924	Степени свободы	3

а (a)



Расчет		Среднее	1427,619	Геометрическое среднее	1395,044
Минимальная величина	339,0	Дисперсия	83577,61	Геометр. std. откл.	1,253
Максимальная величина	2924,0	Стандартное отклонение	289,098	Оценка Сигмалы	1430,936
2-е наибольшее	2825,0	Козф. вариации	0,203	V Сигмалы	0,051
3-е наибольшее	2789,0	Медиана	1411,0	Гамма Сигмалы	1,026
4-е наибольшее	2781,0	Логнорм. среднее	7,241	Экспериментальный Chi ²	404,822
Кол-во	4951	Логнорм. std. откл.	0,225	Степени свободы	6

б (b)

Рис. 3. Гистограммы распределения и статистическая обработка данных телеметрии буровзрывных скважин на угольном разрезе Кузбасса: а) скорость бурения; б) крутящий момент /

Fig. 3. Distribution histograms and statistical processing of telemetry data of drilling and blasting wells at the Kuzbass coal mine: а) speed drilled; б) torque

2. По степени изменения неконтролируемых параметров бурения по результатам анализа телеметрии установлено, что южная часть подготовленного к взрыву блока по глубине характеризуется большей структурной нарушенностью, что отчетливо наблюдается на разрезе по построенным блочным моделям.

3. Установлена обратная корреляционная зависимость по глубине буровзрывных скважин, между параметрами скорости бурения, с одной стороны, и параметрами бурения — усилия подачи и крутящего момента, с другой стороны. То есть, при резком увеличении скорости бурения показатели усилия подачи и крутящего момента заметно снижаются, что косвенно может свидетельствовать о том, что на данном интервале бурения массив характеризуется повышенной трещиноватостью и наличием пустот (рис. 5в, см. цветную вклейку стр. 25).

Анализ данных неконтролируемых параметров бурения скважин, таких как скорость бурения и крутящий момент, а также усилия подачи показал, что система мониторинга скважин БВР обеспечивает фактический отклик на структурные изменения в массиве горных пород, фиксирует зоны

в толще вмещающих пород, где происходит резкое изменение указанных выше показателей бурения. Исходя из этого можно сделать вывод, что применять подобные системы мониторинга параметров бурения на угольных разрезах целесообразно не только с позиции улучшения качества буровых и взрывных работ при добыче полезного ископаемого, но и в качестве косвенного метода пространственной локализации структурных неоднородностей с качественной оценкой состояния подготовленного к взрыванию блока угольного разреза.

Заключение

При проектировании параметров буровзрывных работ на угольных разрезах для более рационального и эффективного управления энергией взрыва и корректировки расчетов при проведении взрывных работ необходим комплексный подход с целью получения всесторонней информации о строении вмещающего полезное ископаемое массива, включающий как анализ изменения параметров бурения с глубиной, так и анализ данных по натурным наблюдениям с оценкой интенсивности трещиноватости массива горных пород. ■

ЛИТЕРАТУРА

- Ишейский В.А., Васильев А.С. Ключевые особенности и проблемы при обработке, анализе и интерпретации данных по процессу бурения взрывных скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. №3. С.16-33. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_16.
- Ишейский В.А., Мартынушкин Е.А., Васильев А.С. Отбор данных по процессу бурения взрывных скважин при формировании баз алгоритмов машинного обучения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 4. С. 116-133. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_116.
- Ларичев А.Ю. К вопросу влияния конструкции заряда на пылеобразование при производстве взрывных работ на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. №12. С. 352-357.
- Leung R., Scheduling S. Automated coal seam detection using a modulated specific energy measure in a monitor-while-drilling context // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015. P.196-209. DOI:10.1016/j.ijrmms.2014.10.012.
- Monteiro ST, Van De Ven J, Ramos F, Hatherly P. Learning 3D geological structure from drill-rig sensors for automated mining // Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2011. Vol. 3. P. 2500-2506.
- Wenlong Zhang, Chen Li, Junxiao Jin, Xiaocheng Qu, Shuo Fan, Chongwei xin. A new monitoring-while-drilling method of large diameter drilling in underground coal mine and their application // Measurement. 2021. Vol. 173. Article ID 108840. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108840.
- Wenlong Zhang, Jianju Ren, Fan Zhu, Jicheng Feng. Analysis and selection of measurement indexes of MWD in rock lithology identification // Measurement. 2023. Vol. 208. Article ID 112455. DOI:10.1016/j.measurement.2023.112455.
- Khorzoughi M. B., Hall R., Apel D. Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. P. 859-864. DOI:10.1016/j.ijmst.2018.01.001.
- Khorzoughi M. B., Hall R. Processing of measurement while drilling data for rock mass characterization // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol.26. P.989-994. DOI:10.1016/j.ijmst.2016.09.005.
- Cancan Liu, Xigui Zheng, Niaz Muhammad. An experimental investigation into the borehole drilling and strata characteristics // PLoS ONE.2021. Vol.16. P. 20. Article ID: 236158758. DOI:10.1371/journal.pone.0253663.
- Van Eldert J., Schunnesson H., Johansson D., Saiang D. Application of measurement while drilling technology to predict rock mass quality and rock support for tunnelling // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2020. Vol. 53. P. 1349-1358. DOI:10.1007/s00603-019-01979-2.
- Van Eldert J., Schunnesson H., Saiang D., Funechag J. Improved filtering and normalizing of measurement-while-drilling (MWD) data in tunnel excavation // Tunnelling and Underground Space Technology. 2020. Vol. 103. Article ID 103467. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103467.
- Navarro Juan, Schunnesson, Hakan, Ghosh, Rajib. Application of drill-monitoring for chargeability assessment in sublevel caving // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 119. P. 180-192. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2019.03.026.
- Alberto Fernandez, Jose A. Sanchidrian, Pablo Segarra. Rock mass structural recognition from drill monitoring technology in underground mining using discontinuity index and machine learning techniques // International Journal of Mining Science and Technology. 2023. Vol. 33. Issue 5. P. 555-571. DOI: 10.1016/j.ijmst.2023.02.004.
- Piyush Rai, Hakan Schunnesson, Per-Arne Lindqvist. Measurement-while-drilling technique and its scope in design and prediction of rock blasting // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Issue 4. P. 711-719. DOI:10.1016/j.ijmst.2016.05.025.

REFERENCES

1. Isheisky V.A., Vasiliev A.S. Key features and problems in processing, analyzing and interpreting data on the process of drilling explosive wells. Mining information-analytical bulletin. 2022. No 3. pp. 16-33. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_16.
2. Isheisky V.A., Martynushkin E.A., Vasiliev A.S. Selection of data on the process of drilling explosive wells in the formation of bases of machine learning algorithms. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2022. No 4. pp. 116-133. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_116.
3. Larichev A.Yu. To the question of the influence of the charge design on dust formation during blasting operations at quarries. Mining information-analytical bulletin (scientific and technical journal). 2014. No 12. pp. 352-357.
4. Leung R., Scheding S. Automated coal seam detection using a modulated specific energy measure in a monitor-while-drilling context. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015. pp. 196-209. DOI:10.1016/j.ijrmms.2014.10.012.
5. Monteiro ST, Van De Ven J, Ramos F, Hatherly P. Learning 3D geological structure from drill-rig sensors for automated mining. Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2011. vol. 3. pp. 2500-2506.
6. Wenlong Zhang, Chen Li, Junxiao Jin, Xiaocheng Qu, Shuo Fan, Chongwei xin. A new monitoring-while-drilling method of large diameter drilling in underground coal mine and their application. Measurement. 2021. vol. 173. article ID 108840. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108840.
7. Wenlong Zhang, Jianju Ren, Fan Zhu, Jicheng Feng. Analysis and selection of measurement indexes of MWD in rock lithology identification. Measurement. 2023. vol. 208. article ID 112455. DOI:10.1016/j.measurement.2023.112455.
8. Khorzoughi M. B., Hall R., Apel D. Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques. International Journal of Mining Science and Technology. 2018. vol. 28. pp. 859-864. DOI:10.1016/j.ijmst.2018.01.001.
9. Khorzoughi M. B., Hall R. Processing of measurement while drilling data for rock mass characterization. International Journal of Mining Science and Technology. 2016. vol. 26. pp. 989-994. DOI:10.1016/j.ijmst.2016.09.005.
10. Cancan Liu, Xigui Zheng, Niaz Muhammad. An experimental investigation into the borehole drilling and strata characteristics. PLoS ONE.2021.vol.16. P. 20. article ID: 236158758. DOI:10.1371/journal.pone.0253663.
11. Van Eldert J., Schunnesson H., Johansson D., Saiang D. Application of measurement while drilling technology to predict rock mass quality and rock support for tunnelling. Rock Mechanics and Rock Engineering. 2020. vol. 53. pp. 1349-1358. DOI:10.1007/s00603-019-01979-2.
12. Van Eldert J., Schunnesson H., Saiang D., Funebag J. Improved filtering and normalizing of measurement-while-drilling (MWD) data in tunnel excavation. Tunnelling and Underground Space Technology. 2020. vol. 103. article ID 103467. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103467.
13. Navarro Juan, Schunnesson, Hakan, Ghosh, Rajib. Application of drill-monitoring for chargeability assessment in sublevel caving. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. vol. 119. pp. 180-192. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2019.03.026.
14. Alberto Fernandez, Jose A. Sanchidrian, Pablo Segarra. Rock mass structural recognition from drill monitoring technology in underground mining using discontinuity index and machine learning techniques. International Journal of Mining Science and Technology. 2023. vol. 33. issue 5. pp. 555-571. DOI: 10.1016/j.ijmst.2023.02.004.
15. Piyush Rai, Hakan Schunnesson, Per-Arne Lindqvist. Measurement-while-drilling technique and its scope in design and prediction of rock blasting. International Journal of Mining Science and Technology. 2016. vol. 26. issue 4. pp. 711-719. DOI:10.1016/j.ijmst.2016.05.025.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Залевская Каролина Николаевна:

кандидат технических наук,
младший научный сотрудник,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: zalevskaya.karolina@mail.ru

Кирков Алексей Евгеньевич:

научный сотрудник,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: leha1980@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zalevskaya Karolina Nikolaevna:

Ph.D. in Engineering, junior researcher,
IPKON RAN,
Moscow, Russia,
e-mail: zalevskaya.karolina@mail.ru

Kirkov Alexey Evgenievich:

researcher,
IPKON RAN,
Moscow, Russia,
e-mail: leha1980@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе в работу над статьей. / The authors declare an equal contribution to the work on the article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

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