

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-106-111

УДК 622.232.76

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РАЗРУШЕННОГО УГЛЯ

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF DRILLING DEGASIFICATION WELLS AND TRANSPORTATION OF DESTROYED COAL

**Маметьев Леонид Евгеньевич,**

доктор техн. наук, профессор, e-mail: bau.asp@rambler.ru

**Leonid E. Mametyev, Dr. Sc., Professor**

**Хорешок Алексей Алексеевич,**

доктор техн. наук, профессор, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

**Aleksey A. Khoreshok, Dr. Sc., Professor**

**Цехин Александр Михайлович,**

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: bau.asp@rambler.ru

**Alexander M. Tsekhin, C. Sc. (Engineering), Associate Professor**

**Борисов Андрей Юрьевич,**

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: bau.asp@rambler.ru

**Andrey Yu. Borisov, C. Sc. (Engineering), Associate Professor**

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000,  
Russian Federation

**Аннотация:** Актуальными в настоящее время являются исследования по совершенствованию процесса бурения дегазационных скважин в высокогазоносных пластах и решению вопросов транспортировки продуктов бурения. Газоносность угольных пластов на шахтах Кузбасса 15–30 м<sup>3</sup>/т повышает вероятность метановыделения в выработки выемочного участка. По этой причине возрастает вероятность аварийного загазирования горных выработок, что, как следствие, сдерживает нагрузку на лаву. Для предупреждения опасных внезапных прорывов метана в очистные выработки из нижележащего высокогазоносного пласта-спутника рекомендовано использовать дегазационные скважины. Выполнен анализ существующих конструкций буровых станков для осуществления данной технологической операции и обобщен опыт их применения на угольных шахтах. Установлены закономерности процесса транспортирования разрушенного материала горизонтальным шнековым буровым ставом. В процессе бурения скважины реализуются два процесса: разрушение забоя скважины; транспортирование разрушенного материала шнековым буровым ставом. Отмечено, что при прочих равных условиях 80–90 % мощности затрачивается на транспортирование и на трение шнекового става о стенку скважины.

Целью работы является увязка конструктивных и режимных параметров применяемых в технологическом процессе функциональных горных машин: бурового дегазационного станка и скребкового конвейера, который выполняет функцию аккумуляирования разрушенного угля.

Приведены результаты расчетов объемов угля, поступающего из скважин с различными параметрами: диаметром и глубиной. Обоснованы параметры аккумулярующих конвейеров – перегружателей: поперечное сечение решеток и их необходимая длина в зависимости от диаметра и глубины дегазационных скважин.

**Abstract:** Relevant to the present research are to improve the process of drilling degasification wells in highly gas-bearing formations and transport of drilling products. The gas content of coal seams in the Kuzbass mines 15–30 m<sup>3</sup>/t increases the likelihood of methane release into production in longwall entries. For this reason, increases the likelihood of accidents in the mines that, as a consequence, inhibits the load on the longwall face. To prevent threat of sudden outbursts of methane production in rooms of their underlying high-gas-carrying reservoir-satellite is recommended to use degassing wells. The analysis of the existing constructions of drilling rigs for the implementation of this technological operation and summarized the experience of their use in coal mines. The regularities of the process of transportation of the destroyed material by horizontal auger

drilling rig. In the process of drilling a well implemented two processes: the destruction of the bottomhole of the well; transporting of destroyed material of screw drill rod. It is noted that under other equal conditions 80-90% of the power is spent on transportation and friction of the auger rate on the well wall.

The aim of this work is to link the design and operating parameters used in the technological process of the functional mining machines: drilling of degassing machine and a scraper conveyor which performs the function of accumulation of coal destroyed.

The results of calculations of volume of coal arriving from the wells with different parameters: diameter and depth. Substantiated the parameters of the accumulation conveyors – loading elevators: the cross section of the trough and their required length depending on the diameter and depth of degassing wells.

**Ключевые слова:** буровой станок, расширитель скважины, объем разрушенного угля, скребковый конвейер, рештак, длина конвейера.

**Keywords:** drilling rig, the expander of the well, the volume of the destroyed coal, scraper conveyor, the pan, the length of the conveyor.

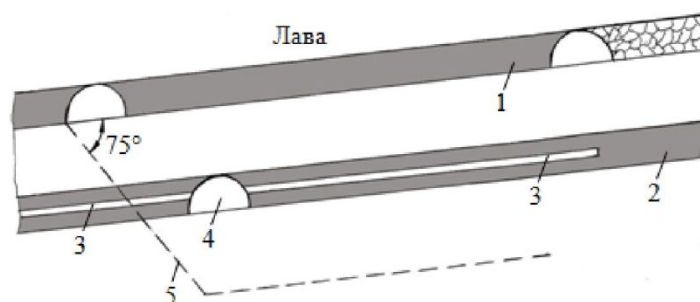


Рис. 1. Схема расположения скважин в пласте-спутнике:

1 – разрабатываемый пласт угля; 2 – пласт-спутник; 3 – скважина;  
4 – выработка газоотводящая; 5 – граница защитной надработки

Fig. 1. The scheme of location of wells in the plast-satellite:

1 – develop coal seam; 2 – past-satellite; 3 – well;

4 – development of a gas-outlet; 5 – the boundary of the protective development

Современные выемочные участки подготавливаются к отработке проведением в угольных пластах нарезных и газоотводящих выработок. При этом применяются проходческие комбайны избирательного действия с широким перечнем конструкций исполнительных органов и породоразрушающего инструмента [1–6].

Газоносность угольных пластов на шахтах Кузбасса 15–30 м<sup>3</sup>/т повышает вероятность метановыделения в выработки выемочного участка. Это может привести к аварийному загазированию горных выработок и сдерживает добычу угля. Для предупреждения опасных внезапных прорывов метана в очистные выработки из нижележащего высокогазонасного пласта-спутника институтом ВОСТНИИ рекомендовано использовать газоотводящие выработки и дегазационные скважины (рис. 1), которые способствуют разгрузке угольного пласта и повышают его склонность к газоотдаче.

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева выполняются комплексные исследования по совершенствованию проходческой, очистной и буровой техники, направленные на повышение эффективности ее эксплуатации в различных горно-геологических

условиях шахт Кузбасса.

В настоящее время основной парк отечественной и зарубежной буровой техники представлен следующими станками: СБГ-1М, «Старт», Б15-50Э, СБН-01, СБН-02 [7], БГА-2М [8], DL5, DL15 [9, 10], Б7,7 Э-60 [11], которые позволяют бурить скважины диаметрами от 50 до 500 мм и глубиной от 20 до 300 м [7–15].

Актуальность вопроса состоит в том, что для бурения дегазационных скважин могут использоваться буровые станки типа БГА-2М. В освоении их серийного производства на Анжерском машзаводе широкое участие принимали ученые кафедры горных машин и комплексов КузГТУ. В результате совместных с машиностроителями инновационных разработок созданы технические решения, касающиеся создания бурового инструмента к этим станкам, а также средств, уменьшающих потери разрушенного угля при транспортировке в пространстве бурового станка и зонах перегрузки на штрековые транспортные средства. Учеными кафедры проведен цикл НИР по обоснованию конструктивных и режимных параметров буровых ставов при бурении горизонтальных и слабонаклонных скважин. Установлено, что при диаметре скважины 150–500 мм для удаления про-



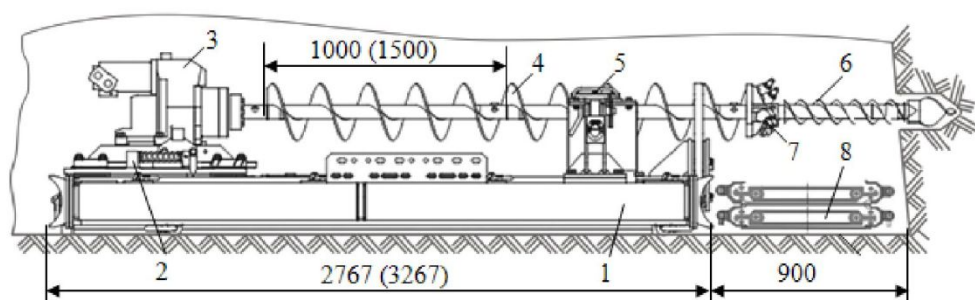


Рис. 2. Буровой станок для бурения скважины в пласте-спутнике:

1 – рама; 2 – каретка механизма подачи; 3 – вращатель; 4 – шнековый буровой став; 5 – люнет; 6 – забурник; 7 – расширитель; 8 – скребковый конвейер

Fig.2. Drilling rig for well drilling in a plast-satellite:

1 – frame; 2 – carriage feeding mechanism; 3 – rotator; 4 – the screw of the drill string; 5 – rest; 6 – starting borer; 7 – expander; 8 – scraper conveyor

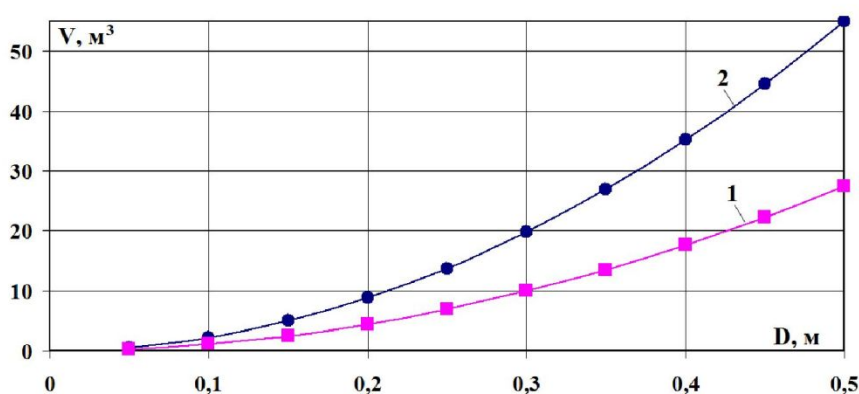


Рис. 3. Зависимости объема  $V$  разрушенного угля в скважине от ее диаметра:

1 – глубина скважины  $L = 100$  м; 2 – глубина скважины  $L = 200$  м

Fig.3. Depending on the volume  $V$  of the destroyed coal in the hole from its diameter:

1 – well depth  $L = 100$  m; 2 – well depth  $L = 200$  m

дуктов разрушения необходимо использовать шнековый буровой став (рис. 2). Этот вывод подтверждается конструкторами бурового станка DL15 компании «Deilmann-haniel Mining Systems» [9], где используются шнековые буровые штанги длиной 1000–1500 мм. Эксплуатационные испытания этого станка на шахте «Распадская» при бурении скважин глубиной 194,5 м показали, что время бурения одной скважины составляло две рабочие смены [10].

При бурении скважины прямым ходом расчетный объем разрушенного угля  $V_1$  определится из выражения:

$$V_1 = 0,785D^2 \times L \times k_p, \text{ м}^3, (1)$$

где  $D$  – диаметр скважины, м;  $L$  – глубина скважины, м;  $k_p = 1,4$  – коэффициент разрыхления угля.

В частности, при бурении скважины диаметром  $D = 0,3$  м расчетные значения объемов разрушенного угля составят:  $V_1 = 2,97 \text{ м}^3$ ,  $V_1 = 4,94 \text{ м}^3$ ,  $V_1 = 9,89 \text{ м}^3$ ,  $V_1 = 19,78 \text{ м}^3$ , соответственно, при

глубине скважин  $L = 30$  м,  $L = 50$  м,  $L = 100$  м и  $L = 200$  м.

На рис. 3 представлены зависимости объема разрушенного угля в скважине от ее основных параметров  $D$ ,  $L$ .

Для аккумуляции разрушенного угля целесообразно использовать скребковый конвейер 2СР70М, длина  $L_k$  которого зависит от расчетных значений объемов  $V_1$  и поперечного сечения  $S$  решета. Необходимая для аккумуляции угля длина конвейера может быть определена по формуле:

$$L_k = (0,785D^2 \times L \times k_p) / S, \text{ м}, (2)$$

Результаты исследований показали, что процесс транспортирования разрушенного материала горизонтальным шнеком происходит с образованием в межвитковом пространстве шнека отдельных объемов транспортируемой массы. На этот объем влияют скорость вращения бурового става и физико-механические свойства материала.

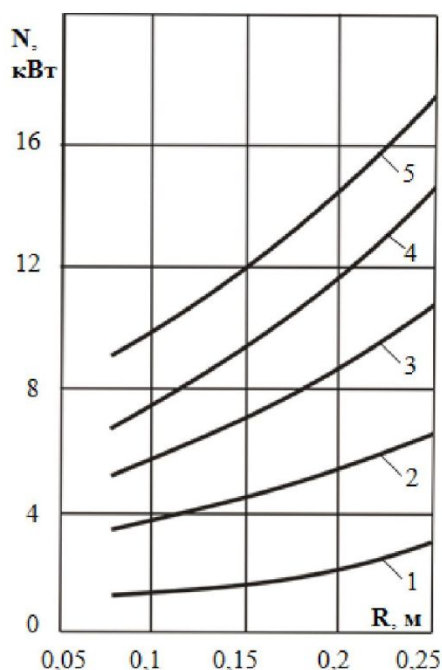


Рис. 4. Зависимости мощности  $N$ , потребляемой вращателем, от радиуса  $R$  скважины: 1 –  $L = 5$  м; 2 –  $L = 10$  м; 3 –  $L = 15$  м; 4 –  $L = 20$  м; 5 –  $L = 25$  м

Fig. 4. Dependences of power  $N$ , consumed by the rotator from radius  $R$  of wells

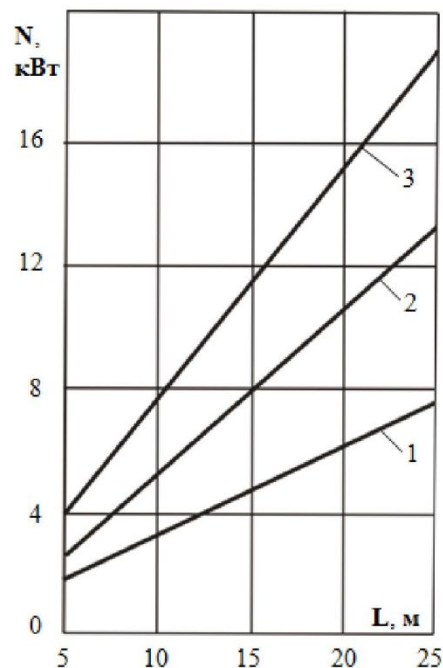


Рис. 5. Зависимости мощности  $N$ , потребляемой вращателем, от глубины  $L$  скважины: 1 –  $R = 0,075$  м; 2 –  $R = 0,175$  м; 3 –  $R = 0,225$  м

Fig. 5. Dependences of power  $N$ , consumed by the rotator from depth  $L$  of wells

При транспортировании шнеком продукты разрушения отклоняются вращающейся винтовой спиралью на угол  $\theta$  к горизонту, который примерно равен углу естественного откоса материала в состоянии движения. Скорость вращения  $n$ , при которой материал достигает критического угла  $\theta$ , зависит от следующих параметров:  $\gamma$  – объемный вес материала;  $R$  – внутренний радиус скважины;  $\alpha$  – угол подъема спирали шнека;  $\rho_T$  – угол трения шнека о транспортируемый материал. С увеличением скорости вращения бурового става величины угла  $\theta$  и коэффициента заполнения межвиткового пространства шнека  $\psi$  возрастают. Это является основной причиной снижения транспортирующей способности бурового става и увеличения мощности, потребляемой двигателем вращателя. В этой связи частота вращения бурового става  $n = 42 \text{ мин}^{-1}$ , а также скорость бурения  $V = 0,5 \text{ м/мин}$  оставались в процессе бурения постоянными.

Мощность при транспортировании материала по скважине предлагается определять по эмпирическому выражению:

$$N = 8,22 \cdot (0,5R)^3 R \cdot n \cdot \gamma \cdot k_T \left[ L / (\cos^2 \alpha \cdot \sin \rho_T) \right] \text{, кВт, (3)}$$

где  $k_T$  – коэффициент сопротивления материала транспортированию;

$L$  – длина бурового става, м.

Обобщенные результаты исследований в виде

зависимостей представлены на рис. 4, 5.

Мощность, затрачиваемая на транспортирование материала в скважине, определялась следующим образом. Скважина бурилась на определенную глубину, а затем отключался механизм подачи бурового става и при вращении шнекового бурового става материал выдавался из скважины с фиксированием мощности. После полной очистки скважины от продуктов разрушения замерялась мощность, затрачиваемая на холостое вращение шнекового бурового става. Анализ результатов исследований показал, что с увеличением радиуса  $R$  и глубины  $L$  скважин (рис. 4, 5) мощность  $N$ , потребляемой вращателем, возрастает. В процессе бурения скважины реализуются два процесса: разрушение забурником и расширителем забоя скважины; транспортирование разрушенного материала шнеком бурового става внутри скважины. Отмечено, что при прочих равных условиях основная часть мощности (80–90 %) затрачивается на транспортирование и на трение шнекового става о стенку скважины.

Зависимости, приведенные на рис. 4 соответствуют длинам скважины: 1 –  $L = 5$  м; 2 –  $L = 10$  м; 3 –  $L = 15$  м; 4 –  $L = 20$  м; 5 –  $L = 25$  м.

Зависимости, приведенные на рис. 5 соответствуют радиусам скважины: 1 –  $R = 0,075$  м; 2 –  $R = 0,175$  м; 3 –  $R = 0,225$  м.

Представленное техническое решение комплекта «буровой станок-скребковый конвейер» позволит повысить эффективность бурения дегазационных скважин и транспортирования разрушенного угля.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Выявлено, что для реализации технологии снижения загазованности обрабатываемых промышленных угольных пластов на первом этапе необходимо в пластах-спутниках проходить комбайнами избирательного действия газоотводящие выработки, из которых с определенным шагом, диаметром и глубиной выбуриваются дополнительные скважины буровыми установками.
- Установлено, что при транспортировании разрушенного материала горизонтальным шнековым буровым ставом с увеличением диаметра скважины с 0,05 м до 0,25 м мощность, потребляемая вращателем, возрастает в 1,7–2,1 раза;

а с увеличением глубины скважины с 5 м до 25 м, соответственно, возрастает в 3,7–4,6 раза и при критической скорости вращения бурового става более 120 мин<sup>-1</sup> может произойти опрокидывание двигателя вращателя бурового станка.

- Определено, что при бурении горизонтальных и слабонаклонных дегазационных скважин основная доля мощности вращателя до 80-90% расходуется на процесс транспортирования разрушенного материала шнековым буровым ставом.
- Обоснована взаимосвязь параметров скребкового конвейера для аккумуляции продуктов разрушения с параметрами бурения дегазационных скважин. В частности, при  $D = 0,3$  м расчетные значения объемов разрушенного угля  $V$  при увеличении глубины скважин с  $L = 30$  м до  $L = 200$  м возрастают в 6,6 раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 1. Опыт производства и развития : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 213 с.
2. Khoreshok A, Mametyev L, Borisov A, Vorobiev A. Stress-deformed state knots fastening of a disk tool on the crowns of roadheaders // Taishan academic forum-project on mine disaster prevention and control. Chinese coal in the XXI century: Mining, green and safety. – Qingdao, China, October 17-20, 2014, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2014. p. 177–183.
3. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. Finite element models of disk tools with attachment points on triangular prisms // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 770. p. 429–433.
4. Герике, Б.Л. Новый показатель эффективности действия инструмента в разрушаемой среде / Б.Л. Герике, В.И. Клишин, П.Б. Герике // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 3. – С. 55–62.
5. Клишин, В.И. Инструмент и рабочие органы для выемки прочных полезных ископаемых / В.И. Клишин, Б.Л. Герике, П.Б. Герике // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 3. – С. 526–530.
6. Клишин, В.И. Оценка эффективности рабочих органов горных машин, оснащенных дисковым инструментом / В.И. Клишин, Б.Л. Герике, П.Б. Герике // Горный журнал. – 2015. – № 12. – С. 62–68.
7. ЧАО «НГМЗ-БУР» URL: <http://zavodngmz.com> (дата обращения: 25.01.2018).
8. Станок буровой подземный БГА2В URL: [http://вистек-кузбасс.рф/produkcija/burovye\\_stanki/stanok\\_burovoj\\_bga2v](http://вистек-кузбасс.рф/produkcija/burovye_stanki/stanok_burovoj_bga2v) (дата обращения: 25.01.2018).
9. «Deilmann-Haniel Mining Systems GmbH» URL: <http://www.dhms.com> (дата обращения: 25.01.2018).
10. Вальц, В.А. Эксплуатационные испытания бурового дегазационного оборудования типа PD300 немецкой компании «дайльманн-ханиель майнинг системс» на шахте «Распадская» / В.А. Вальц, А. Мартынов // Уголь. – 2007. – №5. – С. 40–41.
11. ООО «РУКмашСервис» URL: <http://www.rukmashservis.ru> (дата обращения: 25.01.2018).
12. Данилов, Б.Б. Совершенствование технологии проходки скважин в грунте методом продавливания / Б.Б. Данилов, А.С. Кондратенко, Б.Н. Смоляницкий, А.С. Смоленцев. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 3. – С. 57–64.
13. Данилов, Б.Б. Способ и буровой инструмент для изменения траектории скважины при шнековом бурении / Б.Б. Данилов, Б.Н. Смоляницкий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – №1. – С. 66–73.
14. Данилов, Б.Б. Определение длины горизонтальной пневмотранспортной магистрали бурового



станка для удаления шлама разрежением / Б.Б. Данилов, Б.Н. Смоляницкий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 4. – С. 80–86.

15. Данилов, Б.Б. Обоснование принципиальных схем отклоняющих устройств в установках горизонтального направленного бурения / Б.Б. Данилов, Б.Н. Смоляницкий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 3. – С. 106–116.

## REFERENCES

1. Prohodcheskie kombajny so strelovidnym ispolnitel'nym organom. Chast' 1. Opyt proizvodstva i razvitiya : monografiya / A.A. Khoreshok, L.E. Mametyev, A.M. Tsekhin, B.L. Gerike, G.D. Bujalich, A.B. Efremkov, A.Yu. Borisov; Jurginskij tehnologicheskij institut, Kuzbasskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet. – Tomsk : Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2015. – 213 p.
2. Khoreshok A, Mametyev L, Borisov A, Vorobiev A. Stress-deformed state knots fastening of a disk tool on the crowns of roadheaders // Taishan academic forum-project on mine disaster prevention and control. Chinese coal in the XXI century: Mining, green and safety. – Qingdao, China, October 17-20, 2014, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2014. p. 177–183.
3. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. Finite element models of disk tools with attachment points on triangular prisms // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 770. p. 429–433.
4. Gerike, B.L. Novyj pokazatel' jeffektivnosti dejstviya instrumenta v razrushaemoj srede / B.L. Gerike, V.I. Klishin, P.B. Gerike // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. – 2016. – № 3. – pp. 55–62.
5. Klishin, V.I. Instrument i rabochie organy dlya vyemki prochnykh poleznykh is-kopaemykh / V.I. Klishin, B.L. Gerike, P.B. Gerike // Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov. – 2016. – № 3. – pp. 526–530.
6. Klishin, V.I. Otsenka effektivnosti rabochikh organov gornyx mashin, osnashchennykh diskovym instrumentom / V.I. Klishin, B.L. Gerike, P.B. Gerike // Gornyy zhurnal. – 2015. – № 12. – pp. 62–68.
7. ChAO «NGMZ-BUR» URL: <http://http://zavodngmz.com> (data obrashheniya: 25.01.2018).
8. Stanok burovoj podzemnyj BGA2V URL: [http://vistek-kuzbass.rf/produkcija/burovye\\_stanki/stanok\\_burovoj\\_bga2v](http://vistek-kuzbass.rf/produkcija/burovye_stanki/stanok_burovoj_bga2v) (data obrashheniya: 25.01.2018).
9. «Deilmann-Haniel Mining Systems GmbH» URL: <http://www.dhms.com> (data obra-shheniya: 25.01.2018).
10. Val'c, V.A. Jekspluatacionnye ispytaniya burovogo degazacionnogo oborudo-vaniya tipa PD300 nemeckoj kompanii «dajl'mann-haniel' majning sistems» na shahte «Raspidskaja» / V.A. Val'c, A. Martynov // Ugol'. – 2007. – №5. – pp. 40–41.
11. ООО «RUKmashServis» URL: <http://www.rukmashservis.ru> (data obrashheniya: 25.01.2018).
12. Danilov, B.B. Sovershenstvovanie tekhnologii prohodki skvazhin v grunte metodom prodavlivaniya / B.B. Danilov, A.S. Kondratenko, B.N. Smoljanickij, A.S. Smolencev. // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. – 2017. – № 3. – pp. 57–64.
13. Danilov, B.B. Sposob i burovoj instrument dlja izmenenija traktorii skvazhiny pri shnekovom burenii / B.B. Danilov, B.N. Smoljanickij // Vestnik Sibirskogo gosudarst-vennogo universiteta putej soobshheniya. – 2017. – №1. – pp. 66–73.
14. Danilov, B.B. Opredelenie dliny gorizonta'noj pnevmotransportnoj magistra-li burovogo stanka dlja udalenija shlama razrezheniem / B.B. Danilov, B.N. Smoljanickij // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. – 2016. – № 4. – S. 80–86.
15. Danilov, B.B. Obosnovanie principial'nyh shem otklonjajushhih ustrojstv v usta-novkah gorizonta'lnogo napravlennoho burenija / B.B. Danilov, B.N. Smoljanickij // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. – 2015. – № 3. – pp. 106–116.

Поступило в редакцию 13.01.2018

Received 13.01.2018