

УДК 622.23.054

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ЧИСЛА РЕЗЦОВ В ЛИНИЯХ РЕЗАНИЯ БАРАБАННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДОВ

DETERMINATION OF THE RATIONAL NUMBER OF PICKS IN THE CUTTING LINES OF GEOKHOD'S CUTTING DRUM

Хорешок Алексей Алексеевич,

доктор техн. наук, директор горного института, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

Khoreshek Aleksei A., Dr. Sc., Director of Mining Institute

Ананьев Кирилл Алексеевич,

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: oneflow@yandex.ru

Ananiev Kirill A., C. Sc. (Engineering), Associate professor

Ермаков Александр Николаевич,

кандидат техн. наук, научный сотрудник, e-mail: cnnb@yandex.ru

Ermakov Aleksander N., C. Sc. (Engineering), researcher

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

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya st., Kemerovo, 650000, Russia

Аннотация. Особенность работы геохода с барабанным исполнительным органом приводит к неравенству скоростей подачи рабочего инструмента на забой. По этой причине число резцов не может быть одинаковым во всех линиях резания, а будет расти по мере удаления линии резания от центра геохода к периферии. Вариативность возможных решений с различным числом резцов (схемных решений) приводит к задаче определения рационального числа резцов в линиях резания на барабанных исполнительных органах геоходов. Определение рационального числа резцов основано на сопоставлении ряда конструктивных и кинематических параметров для различных схемных решений, среди которых выявлены параметры, оказывающие наибольшее влияние на выбор рационального решения.

Abstract. Operation of the geokhod with cutting drum is such that it leads to unequal speed of the cutter feed to the face. For this reason, the number of picks cannot be the same in all cutting lines, and it will grow with the increase in the distance of cutting line from the centre of geokhod to the periphery. The variability of possible solutions with different numbers of picks leads to the task of determining the rational number of picks in the cutting lines on the geokhod cutting drums. The determination of a rational number of picks is based on the comparison of structural and kinematic parameters for the various variants, which include identified parameters having the greatest influence on the selection of a rational solution.

Ключевые слова: геоход, барабанный исполнительный орган, резцы, линии резания.

Keywords: geokhod, cutting drum, picks, cutting lines.

Исследования последних лет, направленные на поиск путей снижения стоимости и интенсификации проведения горных выработок различного назначения, привели к разработке и созданию опытного образца геохода (нового класса горных машин) [1-4], оснащенного барабанным исполнительным органом (ИО) [5-7].

Своеобразный характер перемещения геохода [8] обуславливает особенность подачи ИО на забой. В отличие от режущих барабанов (шнеков) очистных и проходческо-очистных комбайнов непрерывного действия [9], при работе барабанного ИО скорость подачи разрушающего инструмента, установленного на барабанах в различных линиях резания, различается – при удалении линии

резания от центра геохода к периферии (рис. 1) скорость подачи возрастает:

$$V_{\Pi j} = n_{\Gamma} \sqrt{h_{\text{в}}^2 + (\pi r_j)^2},$$

где n_{Γ} – частота вращения головной секции геохода; $h_{\text{в}}$ – шаг винтовой лопасти внешнего движителя; r_j – радиус положения j -ой линии резания на барабане относительно центра геохода.

Это приводит к неравномерности толщин снимаемых стружек в различных линиях резания. Так, для опытного образца геохода с параметрами, приведенными в табл. 1, скорость подачи инструмента меняется более чем в четыре раза по длине барабана $l_{\text{б}}$. Так же будут изменяться и толщины стружек в линиях резания.

На толщину стружки кроме скорости подачи влияют частота вращения барабана и число резцов в линии резания. Ввиду уже описанных обстоятельств, связанных с неравенством подачи ИО, число резцов не может быть одинаковым во всех линиях резания, а барабан будет разделен на зоны с различным числом резцов. Пример варианта схемы набора резцов на барабане с числом резцов в различных линиях резания от одного до трех представлен на рис. 2.

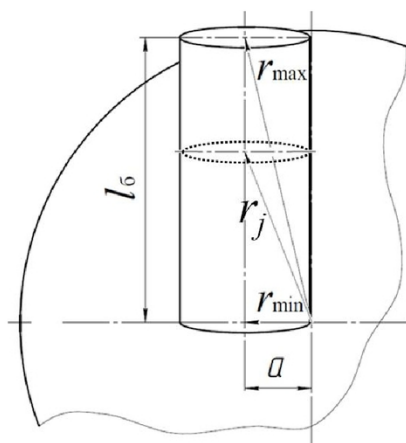


Рис. 1. Положения линий резания на барабане

Таблица 1. Параметры опытного образца геолода

Параметр	Значение
Диаметр геолода по внешней оболочке, D_r , м	3,2
Шаг винтовой лопасти внешнего движителя, h_b , м	0,8
Смещение оси барабана относительно оси геолода a , м	0,35
Максимальная частота вращения головной секции геолода n_r , об/час	6
Угол наклона барабана к плоскости забоя β_6 , град	12
Диаметр барабана по резцам d_6 , м	0,667
Длина барабана l_6 , м	1,51

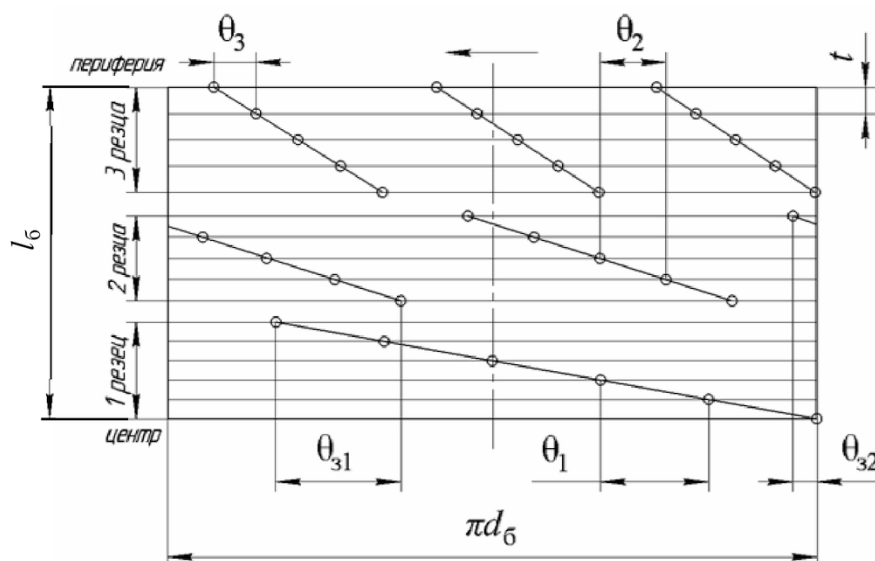


Рис. 2. Схема изменения числа резцов по зонам барабана: t – расстояние между линиями резания; $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – угловые расстояния между соседними резцами для зон с одним, двумя и тремя резцами в линии резания; θ_{31}, θ_{32} – угловые расстояния между крайними резцами в соседних зонах

Вариативность возможных решений схем набора инструмента определяет задачу исследования: определение рационального числа резцов в линиях резания на барабанном ИО опытного образца геолода с параметрами, представленными в табл. 1.

Решение поставленной задачи предполагает: 1) наличие вариантов схем с различным числом резцов в линиях резания (далее схемных решений); 2) выбор критериев оценки схемных решений; 3) анализ схемных решений.

В рамках данных исследований рассмотрены варианты с двумя, тремя, четырьмя и пятью резцами в периферийной линии резания.

Поиск рационального варианта основан на сравнении таких рабочих параметров ИО, как суммарный путь резания L_c (или удельный расход инструмента), средние толщины стружек h_{cp} , удельная энергоёмкость разрушения забоя H_w и суммарное число резцов на барабане z_p .

Исходя из того, что условия резания для каждого схемного решения будут схожими, считаем удельную энергоёмкость разрушения забоя одинаковой для любого из рассматриваемых вариантов.

Суммарный путь резания L_c определяется сложением путей резания каждого i -го резца. Путь

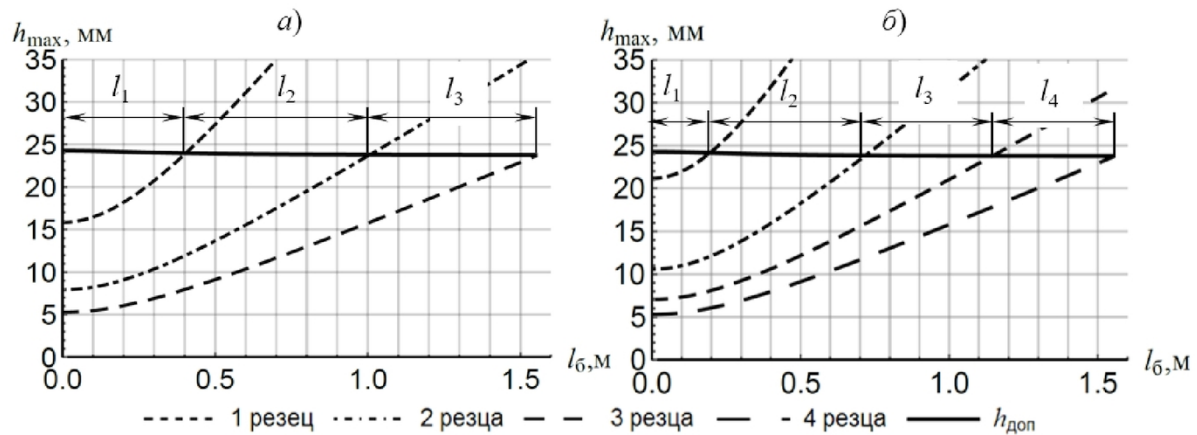


Рис. 3. Зависимость максимальной толщины стружки от положения линии резания на барабане для трех резцов в периферийной линии резания (а) и четырех резцов в периферийной линии резания (б): l_1 , l_2 , l_3 и l_4 – длины зон на барабане с одним, двумя, тремя и четырьмя резцами в линиях резания

резания i -го резца L_i определяется по уравнению [10]

$$L_i = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi \sqrt{(a + 0,5d_6(1 + i_\omega \cos \beta_6) \cos i_\omega \varphi)^2 + (l_i \sin \beta_6 + 0,5d_6(i_\omega + \cos \beta_6) \sin i_\omega \varphi)^2 + \left(\frac{h_b}{2\pi} - i_\omega 0,5d_6 \sin \beta_6 \cos i_\omega \varphi\right)^2}$$

где l_i – положение рассматриваемой линии резания относительно нижнего основания барабана, м; $0 \leq l_i \leq l_6$; i_ω – отношение угловых скоростей головной секции геолода и барабана; φ_1 и φ_2 – углы поворота барабана, при которых происходит начало и конец резания; $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$.

Средние h_{cp} и максимальные h_{max} толщины стружек взаимосвязаны, отличаются лишь пропорциональным снижением первых в зависимости от угла охвата $\gamma_{охв}$ [11]:

$$h_{icp} = h_{imax} \frac{1 - \cos \gamma_{охв}}{\gamma_{охв}}. \quad (1)$$

Фактическая максимальная толщина срезаемой стружки h_{imax} в произвольной линии резания описывается выражением

$$h_{imax} = \frac{n_\Gamma \sqrt{h_b^2 + (\pi r_j)^2}}{n_6 z_{j.p.l.p}}, \quad (2)$$

где $z_{j.p.l.p}$ – число резцов в j -ой линии резания; n_6 – частота вращения барабанов, c^{-1} .

Определение требуемой частоты вращения барабанов n_6 основано на наличии максимально допустимой толщиной стружки при резании поро-

ды $h_{доп}$. Максимально допустимая толщина стружки задается или находится из соображений обеспечения рационального режима разрушения породы или возможностей резца, а частота вращения барабана должна иметь значение, при котором фактическая максимальная толщина стружки в периферийной линии резания равнялась максимально допустимой:

$$n_6 = \frac{V_{п max}}{h_{доп} z_{p.l.p}} \quad \text{или} \quad n_6 = \frac{n_\Gamma \sqrt{h_b^2 + (\pi r_{max})^2}}{h_{доп} z_{p.l.p}},$$

где $z_{p.l.p}$ – число резцов в периферийной линии резания.

В таблице 2 представлены значения параметров различных схемных решений барабанного ИО опытного образца геолода. Результаты получены с использованием разработанной имитационной модели работы ИО [12, 13].

В таблице отсутствуют максимальные (или средние) толщины стружек так как они неодинаковы в различных линиях резания. На рис. 3 показаны графики изменения максимальных глубин резания, построенные по уравнению (2) при $h_{доп} = 24$ мм для двух различных схемных решений.

Результаты анализа графиков на рис. 3 свидетельствуют, что для различных вариантов схем доля резцов, работающих с большей глубиной резания, неодинакова и для определения рационального количества резцов в периферийных ли-

Таблица 2. Кинематические и энергетические параметры барабанных ИО при различном количестве резцов в периферийных линиях резания

Параметр	Число резцов в периферийных линиях резания			
	2	3	4	5
Частота вращения барабанов, c^{-1}	0,38	0,25	0,19	0,15
Число резцов на барабане, шт.	45	62	78	97
Суммарный путь резания за один оборот головной секции геолода, м/об	5877,9	5403,5	5240,0	5170,8

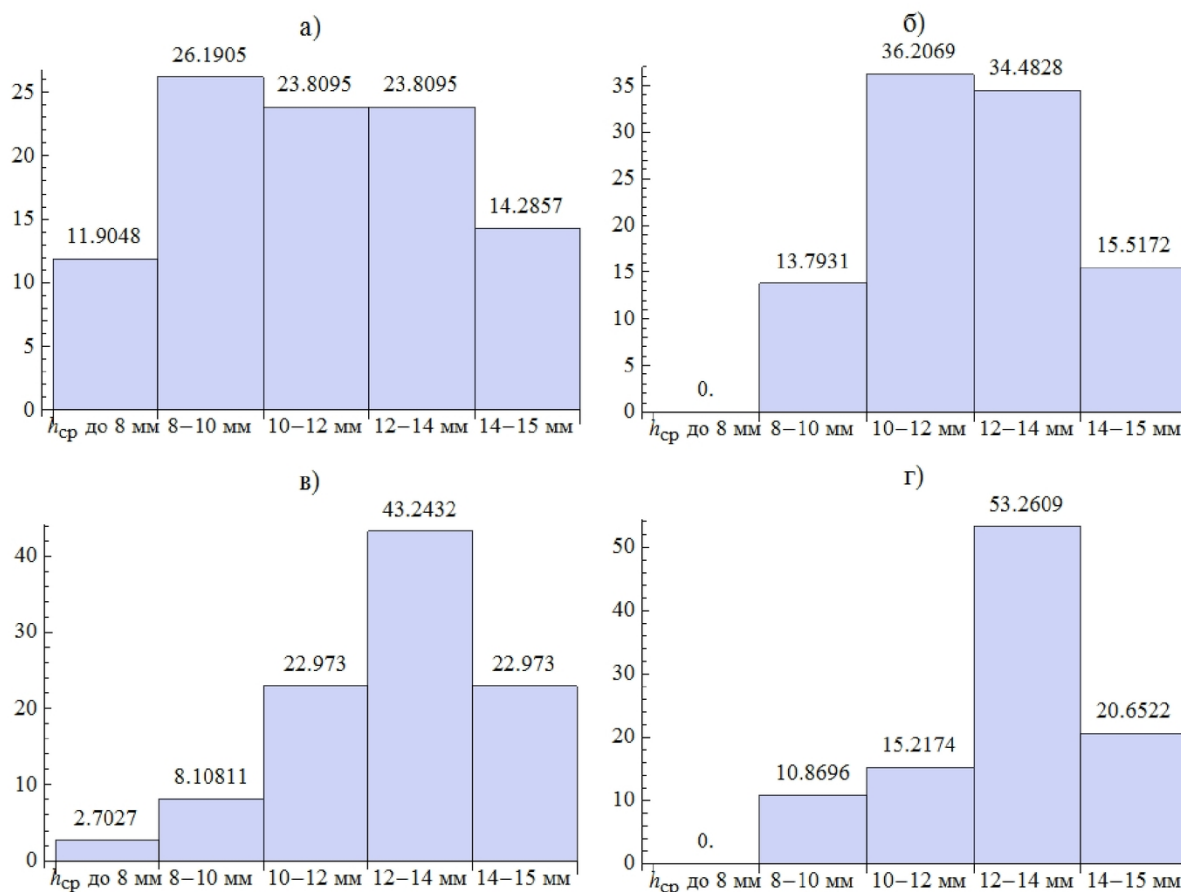


Рис. 4. Гистограммы распределения средних толщин стружек по резцам: а) – с двумя резцами в периферийной линии резания; б) – с тремя резцами в периферийной линии резания; в) – с 4-мя резцами; г) – с 5-ю резцами

ниях резания необходимо учесть равномерность толщин срезаемых стружек в различных зонах барабана (с различным количеством резцов в линиях резания).

На рис. 4 представлены гистограммы распределения средних толщин стружек по резцам, пересчитанных с максимальных по уравнению (2).

Для варианта с двумя резцами в периферийных линиях резания (рис. 4, а) около 38 % резцов, установленных на барабане, работают со средней толщиной стружки менее 10 мм, а 12 % – 6–8 мм, при этом уменьшение толщины стружки не влияет на износ инструмента [14, 15]. Сравнение остальных вариантов не приводит к очевидным выводам по предпочтительности какого-либо решения, так как в диапазоне толщин стружек 10–15 мм при трех резцах в периферийных линиях резания работает 86 %

резцов, при 4 и 5 резцах – 89 %.

Максимальное отличие в значениях параметров суммарного пути резания (или удельного расхода резцов) для 3, 4 и 5 резцов, приведённых в таблице 2, составляет 4%.

Более существенно отличается число резцов на барабане. Так, при сравнении вариантов с 3 и 4 резцами отличие составляет 16 резцов или 20%. Такой же процент будет при сравнении вариантов с 4 и 5 резцами.

Таким образом при сравнении вариантов с числом резцов в периферийных линиях резания 3, 4 и 5 наиболее рациональным является вариант с наименьшим числом резцов, имеющий три резца в периферийных линиях резания, два резца в промежуточных линиях и один резец – в центральных (см. рис. 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Создание нового инструментария для формирования подземного пространства / В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, А. Б. Ефременков, А. А. Казанцев, В. Ю. Бегляков, А. В. Вальтер // Горная техника. – 2015. – №1. – С. 15.
2. Sadovets V. Y., Beglyakov V. Y., Aksenov V. V. Development of math model of geokhod bladed working body interaction with geo-environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2015. – Vol. 91. – №. 1. – P. 012085.

3. Формирование структурного портрета геоходов / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков, В. Ю. Садовец, Е. В. Резанова // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2010. – №01. – С. 35-41.
4. Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine–GEO-WALKER / V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, V. Y. Begljakov // Applied mechanics and materials. – Trans Tech Publications. – 2013. – Vol. 379. – P. 20-23.
5. Выбор принципиальной компоновочной схемы барабанных исполнительных органов разрушения забоя для геоходов / К. А. Ананьев, В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, А. Н. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – №. 11. – С. 141-143.
6. Обзор существующих решений исполнительных органов для формирования каналов за контурами выработки / А. Н. Ермаков, В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, К. А. Ананьев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – №. 12. – С. 20-24.
7. Разработка схемных решений исполнительных органов геоходов / В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, К. А. Ананьев, А. Н. Ермаков // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 3. – С. 73-76.
8. Компоновочные решения машин проведения горных выработок на основе геовинчестерной технологии / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков, В. Ю. Бегляков, П. В. Бурков, М. Ю. Блащук, А. В. Сапожкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – №. 1. – С. 251-259.
9. Drum Cutting Specific Energy Consumption Model Built by Cutting Curves Analysis / Kui-Dong G., Chang-Long D., Hong-Xiang J. // TELKOMNIKA. – 2013. – Vol. 11. – №. 7. – P. 4122-4128.
10. Пушкина, Н.Б. Разработка методов и программных средств проектирования исполнительных органов винтоповоротных проходческих агрегатов (на примере агрегата ЭЛАНГ): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.16; 05.05.06 / Пушкина Нина Борисовна. – Кемерово, 1991. – 19 с.
11. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: Учебник для вузов / Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев, Н.Г. Бойко, П.А. Горбатов, В.А. Межаков. – Москва: Недра, 1988. – 368 с.
12. Определение силовых и кинематических параметров исполнительных органов геохода методом имитационного моделирования / В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, К. А. Ананьев, А. Н. Ермаков // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 1. – С. 25-30.
13. Оценка возможности применения методов имитационного моделирования для определения параметров законтурных исполнительных органов геохода / В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, К. А. Ананьев, А. Н. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №. 2. – С. 145-152.
14. Формирование усилий резания на резцах исполнительного органа проходческого комбайна с учетом их затупления / О.Е. Шабаев, Н.В. Хиценко, И.И. Бридун // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2014. – № 2. – С. 177-183.
15. Estimating the Peak Indentation Force of the Edge Chipping of Rocks Using Single Point-Attack Pick / R.H. Bao, L.C. Zhang, Q.Y. Yao, J. Lunn // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2011. – Vol. 44. – №3. – P. 339-347.

REFERENCES

1. Sozдание novogo instrumentariya dlya formirovaniya podzemnogo prostranstva. V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, A. B. Efremenkova, A. A. Kazantsev, V. Yu. Beglyakov, A. V. Val'ter. Gornaya tekhnika. 2015. №1. P. 15.
2. Sadovets V. Y., Beglyakov V. Y., Aksenov V. V. Development of math model of geokhod bladed working body interaction with geo-environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2015. Vol. 91. №. 1. P. 012085.
3. Formirovanie strukturnogo portreta geohodov [Determination of the structural portrait of geochod]. V. V. Aksenov, A. B. Efremenkova, V. Ju. Sadovec, E. V. Rezanova. Vestnik kuzbasskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2010. №01. P. 35-41.
4. Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine–GEO-WALKER / V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, V. Y. Begljakov // Applied mechanics and materials. Trans Tech Publications. 2013. Vol. 379. P. 20-23.
5. Vybora principial'noj komponovочноj shemy barabannyh ispolnitel'nyh organov razrusheniya zaboja dlja geohodov [The choice of geochod's drum cutter fundamental design]. K. A. Anan'ev, V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, A. N. Ermakov. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)]. 2014. №. 11. P. 141-143.
6. Obzor sushhestvujushhih reshenij ispolnitel'nyh organov dlja formirovaniya kanalov za konturami vyrabotki [Review of existing constructions of out of tunnel cross section cutters]. A. N. Ermakov, V. V.

Aksenov, A. A. Horeshok, K. A. Anan'ev. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)) [Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)]. 2014. №. 12. P. 20-24.

7. Razrabotka skhemnykh resheniy ispolnitel'nykh organov geokhodov / V. V. Ak-senov, A. A. Khore-shok, K. A. Anan'ev, A. N. Ermakov // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. 2014. № 3. P. 73-76.

8. Komponovochnye resheniya mashin provedeniya gornyx vyrabotok na osnove geovinchesternoy tekhnologii [Layout solutions for mining machinery based on screw drilling technology]. V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Yu. Beglyakov, P. V. Burkov, M. Yu. Blashchuk, A. V. Sapozhkova. Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)]. 2009. №. 1. P. 251-259.

9. Drum Cutting Specific Energy Consumption Model Built by Cutting Curves Analysis / Kui-Dong G., Chang-Long D., Hong-Xiang J. // TELKOMNIKA. 2013. Vol. 11. №. 7. P. 4122-4128.

10. Pushkina, N.B. Razrabotka metodov i programmnykh sredstv proektirovaniya ispolnitel'nykh organov vin-topovorotnykh prohodcheskikh agregatov (na primere agregata JeLANG): avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.13.16; 05.05.06 / Pushkina Nina Borisovna. Kemerovo, 1991. 19 p.

11. Proektirovanie i konstruirovaniye gornyx mashin i kompleksov: Uchebnyk dlja vuzov. G.V. Maleev, V.G. Guljaev, N.G. Bojko, P.A. Gorbato, V.A. Mezhaov. Moskva, Nedra, 1988. 368 p.

12. Opredelenie silovykh i kinematicheskikh parametrov ispolnitel'nykh organov geohoda metodom imitacionnogo modelirovaniya [Estimation of force and kinematic parameters of cutting drums of geokhod]. V. V. Aksenov, A. A. Horeshok, K. A. Anan'ev, A. N. Ermakov. Vestnik kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnic-eskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2016. № 1. P. 25-30.

13. Ocenka vozmozhnosti primeneniya metodov imitacionnogo modelirovaniya dlja opredeleniya parametrov zakonturnykh ispolnitel'nykh organov geohoda / V. V. Aksenov, A. A. Horeshok, K. A. Anan'ev, A. N. Ermakov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)]. 2016. №. 2. P. 145-152.

14. Formirovanie usilij rezaniya na rezcah ispolnitel'nogo organa prohodcheskogo kombajna s ucheto, ih zatupleniya. O.E. Shabaev, N.V. Hicenko, I.I. Bridun. Progresivni tehnologii i sistemi mashinobuduvannja. 2014. № 2. – P. 177-183.

15. Estimating the Peak Indentation Force of the Edge Chipping of Rocks Using Single Point-Attack Pick. R.H. Bao, L.C. Zhang, Q.Y. Yao, J. Lunn // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2011. Vol. 44. №3. P. 339-347.

Поступило в редакцию 24.04.2017

Received 24 April 2017