

Хорешок Алексей Алексеевич, доктор техн. наук, **Ананьев Кирилл Алексеевич**, канд. техн. наук, доцент, **Ермаков Александр Николаевич**, канд. техн. наук, доцент, **Шахманов Виталий Николаевич**, канд. техн. наук

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

E-mail: haa.omit@kuzstu.ru

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ УСТАНОВКИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ БАРАБАНОВ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ ОРГАНЕ ГЕОХОДА

Аннотация:

При резании породы барабанным исполнительным органом геохода на приводную секцию передаются силовые параметры, которые, в свою очередь, воспринимаются приводной секцией геохода. В статье исследовано влияние ряда факторов, таких как направление вращения барабанов (при неизменном направлении вращения приводной секции геохода) и схемы установки барабанов, на передаваемые силовые параметры. Определена наиболее рациональная схема установки барабанов и направление их вращения.

Ключевые слова: геоход, барабанный исполнительный орган, направление вращения, схема установки барабанов, приводная секция.

Информация о статье: принята 01 октября 2019 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-4-15-20

1. Введение

В настоящее время применительно к геоходам [1-3] наиболее перспективными типами исполнительных органов (ИО) разрушения забоя для работ в породах до 5 ед. по шкале М.М. Протоdjeяконова

являются барабанные ИО (рис. 1), оснащенные режущим инструментом [4-6].

При работе геохода исполнительный орган 1 взаимодействует с породой и на нем возникают силы резания и подачи. При его жесткой связи с

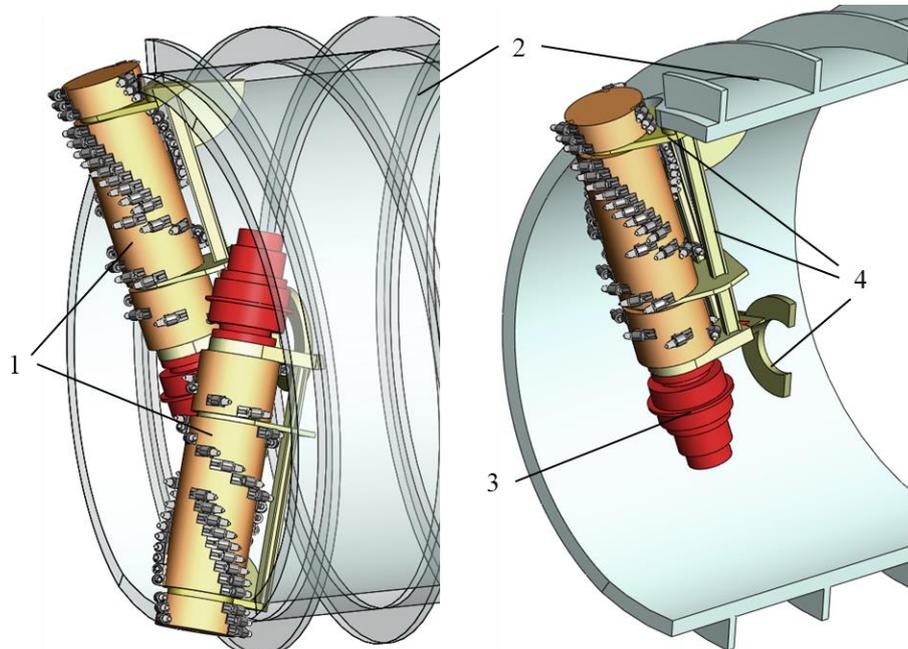


Рис. 1. Барабанный исполнительный орган геохода: 1 – режущие барабаны; 2 – приводная секция; 3 – приводной двигатель; 4 – опорно-крепежные элементы исполнительного органа

Fig. 1. Cutting drum of the geokhod: 1 - cutting drums; 2 - drive section; 3 - drive engine; 4 - supporting and mounting elements of cutting drum

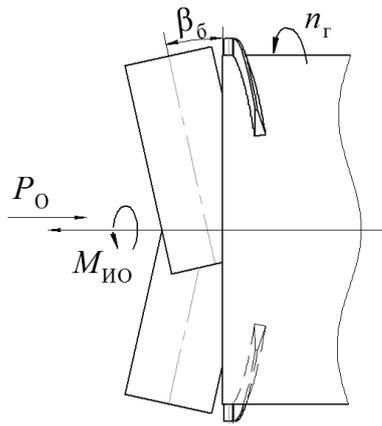


Рис. 2. Фрагмент схемы сил, действующих на геохонд от ИО: P_o – осевое усилие; $M_{ИО}$ – вращающий момент на приводной секции геохонд от работы ИО; β_6 – угол наклона барабанов к фронтальной плоскости; n_r – частота вращения приводной секции
 Fig. 2. A fragment of the scheme of forces acting on the geokhod from the CD: P_o – axial force; M_{CD} – torque on the drive section of the geokhod from the operation of the CD; β_6 – the angle of inclination of the drums to the frontal plane; n_r – rotational speed of the drive section

приводной секцией геохонд опорно-крепежными элементами 3 эти силы воспринимаются приводной секцией, в результате чего образуются [7, 8] проекция результирующей силы на ось вращения геохонд от работы ИО (далее – осевое усилие) P_o и вращающий момент на приводной секции геохонд от работы ИО $M_{ИО}$ (рис. 2).

Наличие вариативности направлений вращения барабанов и схем их расположения определяет задачу выявления наиболее рациональной схемы ИО. При этом по расположению барабанов схема может быть опережающей или отстающей (рис. 3, а), а по направлению вращения – обеспечивающей режим попутного или встречного фрезерования (рис. 3, б).

Для выбора наиболее рациональной схемы расположения и вращения барабанов необходимо определить P_o и $M_{ИО}$, возникающие на приводной секции при каждом возможном варианте, а именно: встречное фрезерование и отстающая схема, встречное фрезерование и опережающая схема, попутное

фрезерование и отстающая схема, попутное фрезерование и опережающая схема.

2. Методы

Для определения указанных составляющих использован алгоритм, аналогичный представленному в методике [9]. Сначала в декартовой системе координат исполнительного органа требуется найти равнодействующие сил резания P_{zik} и подачи P_{yik} в направлении подачи барабана (R_{bi}) и в нормальном к подаче направлении (R_{ci}) [9] (рис. 4.) для i -ого резца в k -ом положении. Затем рассчитать суммарные равнодействующие $R_{bсум}$ и $R_{cсум}$ для каждого рассмотренного k -ого положения барабана. Далее необходимо определить координаты линий действия равнодействующих суммарных сил $R_{bсум}$ и $R_{cсум}$, характеризуемые расстояниями L_{baj} , L_{bcj} , L_{caj} , L_{cbj} от соответствующих координатных осей в системе координат ИО до линий действия равнодействующих [9] (рис. 4.). Учитывая установочные параметры барабанов (смещение и угол установки), нужно переложить полученные максимальные значения равнодействующих $R_{bсум}$ и $R_{cсум}$ на геохонд.

Методика определения равнодействующих сил резания и подачи приведена в работах [9, 10].

Определение равнодействующих в направлении подачи ИО и в нормальном к подаче ИО направлении производится по формулам

$$R_{bik} = -P_{yik} \sin \varphi_{ik} - P_{zik} \cos \varphi_{ik};$$

$$R_{cik} = -P_{yik} \cos \varphi_{ik} + P_{zik} \sin \varphi_{ik}.$$

Суммарные равнодействующие $R_{bсумk}$ и $R_{cсумk}$ для любого k -ого положения барабана определяются следующим образом:

$$R_{bсумk} = \sum_{i=1}^q R_{bik}; R_{cсумk} = \sum_{i=1}^q R_{cik},$$

где q – число контактирующих с забоем резцов при k -ом положении барабана.

Расстояния L_{bak} , L_{bck} , L_{cak} и L_{cbk} , характеризующие положения линии действия сил R_{bk} и R_{ck} , определяются по уравнениям

$$L_{bak} = \frac{\sum_{i=1}^q L_i R_{bik}}{\sum_{i=1}^q R_{bik}}, \quad L_{bck} = \frac{0,5d_6 \sum_{i=1}^q R_{bik} \cos \varphi_{ik}}{\sum_{i=1}^q R_{bik}},$$

$$L_{cak} = \frac{\sum_{i=1}^q L_i R_{cik}}{\sum_{i=1}^q R_{cik}}, \quad L_{cbk} = \frac{0,5d_6 \sum_{i=1}^q R_{cik} \sin \varphi_{ik}}{\sum_{i=1}^q R_{cik}},$$

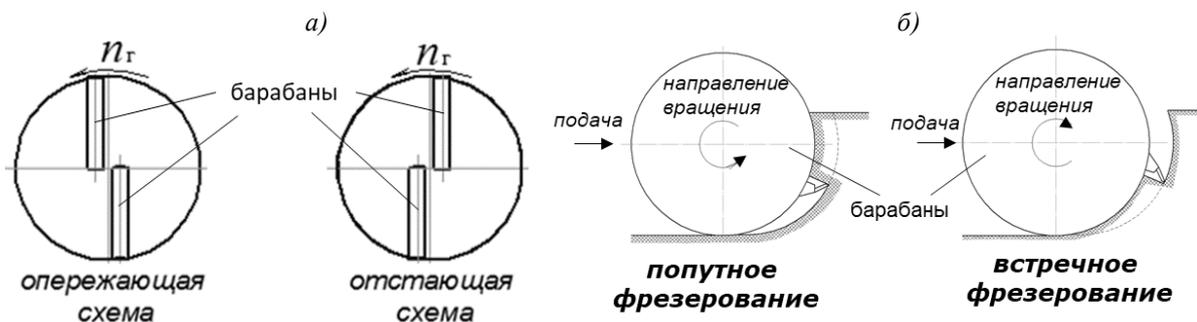


Рис. 3. Схемы расположения (а) и режимы работы (б) барабанов
 Fig. 3. Schemes of arrangement (a) and modes of operation (b) of cutting drums

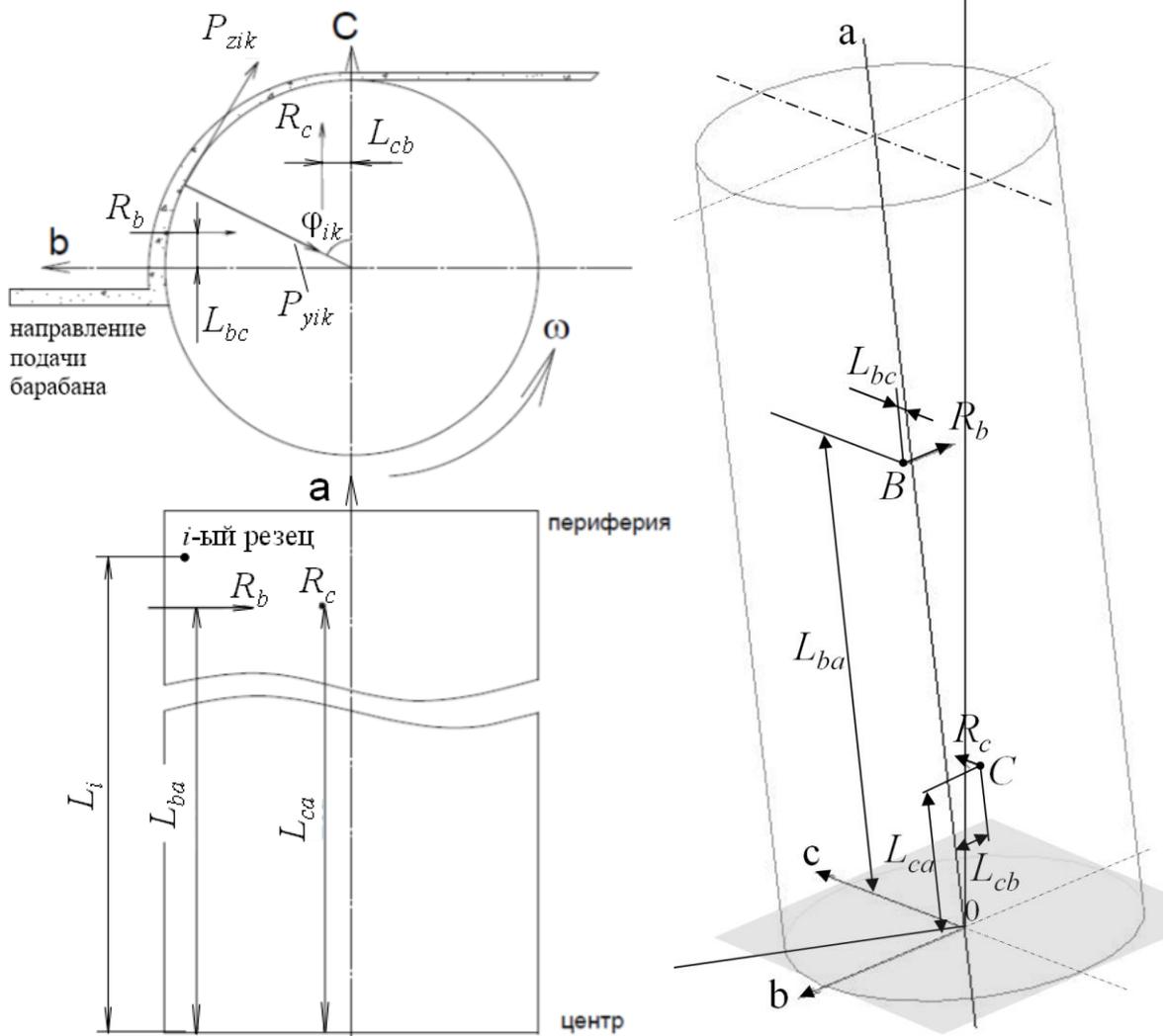


Рис. 4. Схема расположения линий действия равнодействующих суммарных сил на барабане
 Fig. 4. The layout of the lines of action of the resultant total forces on the drum

где L_i – расстояние от нижнего основания барабана до i -ого резца.

Подача инструмента на забой непосредственно связана с поворотом приводной секции, а значит, направление равнодействующей $R_{bcумк}$, направленной вдоль линии, совпадающей с направлением подачи барабана на забой в месте ее приложения, будет осуществляться под различными углами к формируемой поверхности. Данный угол β_{bk} соответствует углу подъема винтовой линии.

$$\beta_{bk} = \arctg \frac{h_b}{2\pi\sqrt{(L_{bak} \cos \phi_6)^2 + (L_{bck} + a)^2}}$$

Вращающий момент на приводной секции геолода от работы ИО $M_{ИОк}$ и осевая составляющая $P_{обк}$ от $R_{bcумк}$ рассчитываются по формулам

$$M_{ИОбк} = R_{bcумк} \cos \beta_{bk} L_{bk},$$

где L_{bk} – плечо проекции равнодействующей $R_{bcумк}$ на фронтальную плоскость геолода.

$$P_{обк} = R_{bcумк} \sin \beta_{bk} \cos \beta_6.$$

Равнодействующая $R_{ccумк}$ имеет аналогию с $R_{bcумк}$, так же, как и угол β_{ck} аналогичен углу β_{bk} . Угол β_{bk} определяется как

$$\beta_{ck} = \arctg \frac{h_b}{2\pi\sqrt{(L_{cak} \cos \beta_6)^2 + a^2}}$$

С учетом угла, характеризующего направление подачи барабана на рассматриваемом радиусе β_{ck} ,

момент $M_{ИОck}$ и осевая составляющая P_{ock} от $R_{ccумк}$ определяются по формулам

$$M_{ИОck} = R_{ccумк} \cos \beta_{ck} L_{ck},$$

где L_{ck} – плечо проекции равнодействующей $R_{ccумк}$ на фронтальную плоскость геолода.

$$P_{ock} = R_{ccумк} \sin \beta_{ck} \cos \beta_6.$$

При условии того, что положения резцов на обоих барабанах одинаковы, осевая сила в k -ом положении барабана $P_{ок}$ и вращающий момент на приводной секции $M_{ИОк}$ составят

$$P_{ок} = (P_{ock} + P_{обк})z_6,$$

$$M_{ИОк} = (M_{ИОck} + M_{ИОбк})z_6,$$

где z_6 – число барабанов.

3. Результаты

В связи с прогнозированием большого числа однотипных расчетов была создана математическая модель, разработанная в среде MatLab/Simulink, реализующая указанный алгоритм [11, 12]. С использованием этой модели исследованы значения $P_{ок}$ и $M_{ИОк}$ для рассмотренных четырех случаев. Результаты представлены на рис. 5.

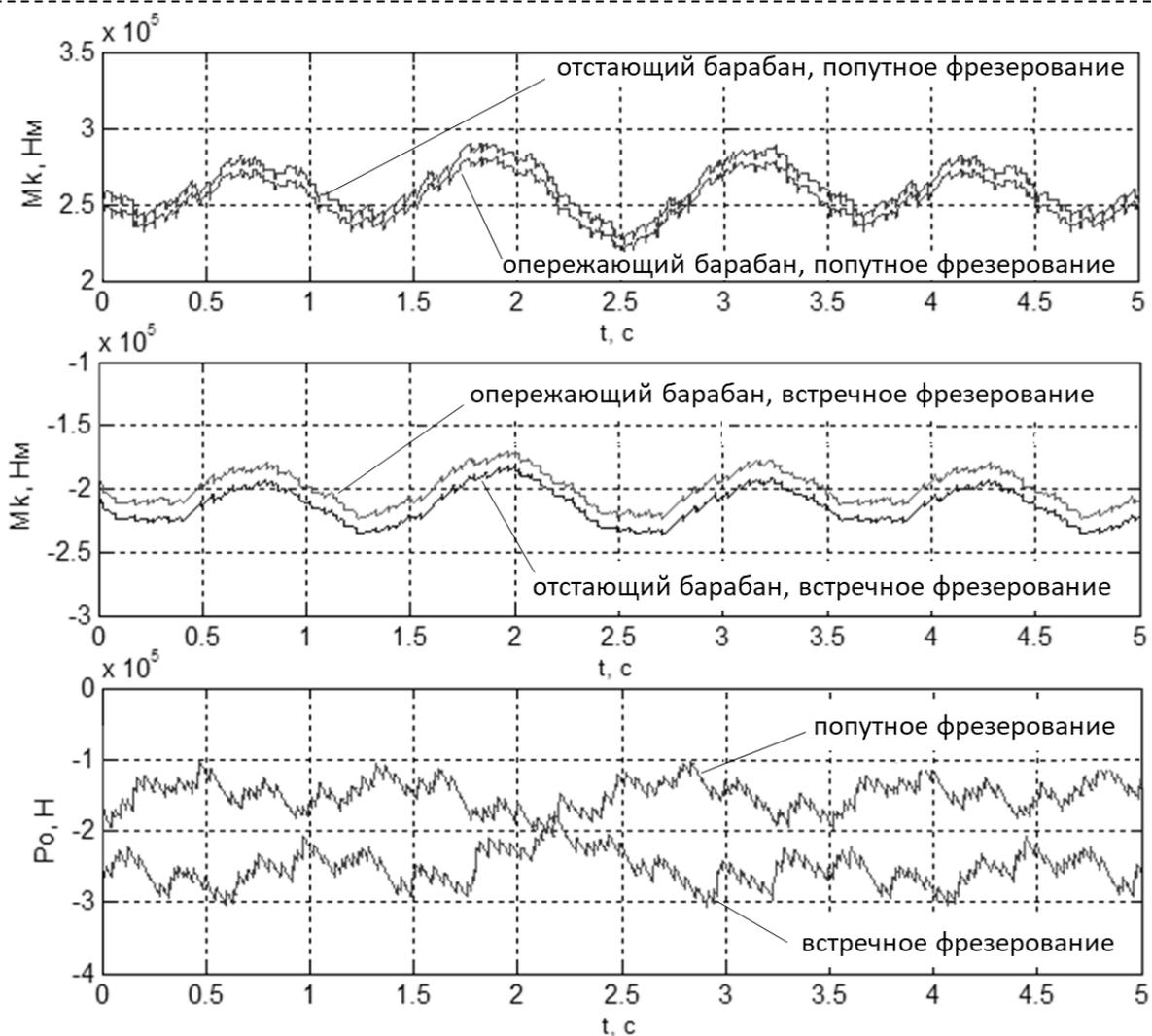


Рис. 5. Графики вращающих моментов и осевых усилий на геоходе от работы барабанного ИО
 Fig. 5. Graphs of torques and axial forces on the geokhod from the work of cutting drums

Осевое усилие P_0 считается положительным, если по направлению совпадает с подачей геохода, т.е. направлено в сторону забоя. Вращающий момент $M_{ИО}$ положителен, если направлен против часовой стрелки при взгляде на забой от геохода, т.е. противоположен направлению вращения приводной секции геохода.

Анализ графиков показал, что осевое усилие P_0 от работы барабанных ИО отрицательно и направлено против направления движения геохода. При этом среднее осевое усилие при встречном фрезеровании ($P_0 = -252$ кН) превышает среднее осевое усилие при попутном фрезеровании ($P_0 = -149$ кН) в 1,7 раза или на 41% и не зависит от схемы установки барабанов.

При встречном фрезеровании вращающий момент от работы ИО $M_{ИО}$ отрицательный, т.е. совпадает с направлением вращения приводной секции геохода и не препятствует, а помогает трансмиссии в создании требуемых тяговых усилий. При попутном фрезеровании $M_{ИО}$ положительный, добавляющий нагрузку на трансмиссию. Схема установки барабанов принципиально не влияет на $M_{ИО}$. Так, при попутном фрезеровании момент при опережающей

схеме меньше, чем при отстающей, на 3% (8 кН·м), а при встречном фрезеровании – на 6,5% (14 кН·м).

4. Выводы

1. Схема установки барабанов практически не влияет на силовые параметры, передаваемые приводной секции от работы барабанного ИО.

2. Осевое усилие на геоходе от работы барабанного ИО всегда действует против направления движения и препятствует ему. При встречном фрезеровании среднее осевое усилие в 1,7 раза больше, чем при попутном фрезеровании. По этому фактору предпочтительным является попутное фрезерование.

3. $M_{ИО}$ при встречном фрезеровании является отрицательным (совпадает с вращением геохода), при попутном фрезеровании – положительным (противоположен вращению геохода). По этому фактору предпочтительным является встречное фрезерование.

При выборе направления фрезерования необходимо также учитывать, что встречное фрезерование повышает динамику работы ИО и нагрузку на резцы [13]. Таким образом, по совокупности факторов

режим попутного фрезерования предпочтительнее режима встречного фрезерования, а выбор схемы установки барабанов должен быть продиктован иными соображениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, В.В. 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. 26-24.
2. Геовинчестерная технология и геходы – инновационный подход к освоению подземного пространства / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2008. – №4. С. 19-28.
3. Аксенов, В.В. Геход: задачи, характеристики, перспективы / В.В. Аксенов, В.Ю. Бегляков, М.Ю. Блащук, А.Б. Ефременков, А.А. Казанцев, А.А. Хорешок, А.В. Вальтер // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – №. 8. – С. 3-8.
4. Ананьев, К.А. Выбор принципиальной компоновочной схемы барабанных исполнительных органов разрушения забоя для геходов / К.А. Ананьев, В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.Н. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 141-143.
5. Study of the Rational Number of Cutters in the Cutting Lines of Cutting Drum of Geokhod / Aleksei A. Khoreshok, Vladimir V. Aksenov, Kirill A. Ananiev, Aleksander N. Ermakov // Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection". doi:10.2991/coal-18.2018.40. Quingdao. China. pp. 218-221. October 18-21, 2018.
6. Khoreshok, A.A. Application of Multi-Criteria Decision Analysis for Choice Geokhods Cutting Head / A.A. Khoreshok, K.A. Ananyev, A.A. Ermakov, E.S. Golikova // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2019. – Т. 105. – P. 03010.
7. Аксенов, В.В. Разработка математической модели взаимодействия гехода с геосредой / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.Б. Ефременков, В.Ю. Тимофеев // Горный информационный аналитический бюллетень. – 2011. – Т. 2, № 12. – С. 79-91.
8. Бегляков, В.Ю. Определение сил взаимодействия основных систем гехода с геосредой и между собой / В.Ю. Бегляков, В.В. Аксенов, И.К. Костинцев, А.А. Хорешок // Горные науки и технологии. – 2018. – №. 4. – С. 23-30.
9. ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. – М.: Минуглепром СССР, 1984. – 107 с.
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. Аксенов, В.В. Определение силовых и кинематических параметров исполнительных органов гехода 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.
12. Аксенов, В.В. Оценка возможности применения методов имитационного моделирования для определения параметров законтурных исполнительных органов гехода / Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 145-152.
13. Семенченко, А.К. Перспективы создания проходческих комбайнов нового технического уровня / А.К. Семенченко, О.Е. Шабаев, Д.А. Семенченко, Н.В. Хищенко // Горная техника. Каталог-справочник. – СПб: ООО «Славутич». – 2005. – С. 60-69.

Aleksei A. Khoreshok, Dr. Sc. in Engineering, **Kirill A. Ananiev**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Aleksander N. Ermakov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Vitaly N. Shakhmanov**, C. Sc. in Engineering

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

JUSTIFICATION OF THE INSTALLATION SCHEME AND THE ROTATION DIRECTION OF THE DRUMS ON THE EXECUTIVE BODY OF THE GEOKHOD

Abstract:

The geokhod's drive section takes the forces transmitted from the cutting drum. The article considers the influence of several factors on the transmitted power parameters, such as the direction of the cutting drums rotation (with a constant direction of rotation of the geokhod's drive section) and the installation scheme of the cutting drums. The most rational drum installation scheme and the direction of rotation for receiving the minimum loadings on geokhod transmissions are defined.

Keywords: geokhod, cutting drum, direction of rotation, installation scheme of drums, drive section

REFERENCES

1. Aksenov, V.V. Sozdanie novogo instrumentariya dlya formirovaniya podzemnogo prostranstva / V.V. Aksenov, A.A. Horeshok, A.B. Efremkov, A.A. Kazancev, V.Yu. Beglyakov, A.V. Valter // *Gornaya tekhnika*. – 2015. – №1. – S. 26-24.
2. Geovinchesternaya tekhnologiya i geohody – innovacionnyj podhod k osvoeniyu podzemnogo prostranstva / V.V. Aksenov, A.B. Efremkov // *Izvestiya vysshih ucheb-nyh zavedenij. Gornyj zhurnal*. – 2008. – №4. S. 19-28.
3. Aksenov, V.V. Geohod: zadachi, karakteristiki, perspektivy / V.V. Aksenov, V.Yu. Beglyakov, M.Yu. Blashchuk, A.B. Efremkov, A.A. Kazancev, A.A. Horeshok, A.V. Valter // *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. – 2016. – №. 8. – S. 3-8.
4. Anan'ev, K.A. Vybory principial'noj kompozitsionnoj skhemy barabannyh ispolnitel'nyh organov razrusheniya zaboya dlya geohodov / K.A. Anan'ev, V.V. Aksenov, A.A. Horeshok, A.N. Ermakov // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*. – 2014. – № 11. – S. 141-143.
5. Study of the Rational Number of Cutters in the Cutting Lines of Cutting Drum of Geokhod / Aleksei A. Khoreshok, Vladimir V. Aksenov, Kirill A. Ananiev, Aleksander N. Ermakov // *Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection"*. doi:10.2991/coal-18.2018.40. Qingdao. China. pp. 218-221. October 18-21, 2018.
6. Khoreshok, A.A. Application of Multi-Criteria Decision Analysis for Choice Geokhods Cutting Head / A.A. Khoreshok, K.A. Ananyev, A.A. Ermakov, E.S. Golikova // *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2019. – T. 105. – P. 03010.
7. Aksenov, V.V. Razrabotka matematicheskoy modeli vzaimodejstviya geohoda s geosredoy / V.V.

Aksenov, A.A. Horeshok, A.B. Efremkov, V.Yu. Timofeev // *Gornyj informacionnyj analiticheskij byulleten'*. – 2011. – T. 2, № 12. – S. 79-91.

8. Beglyakov, V.Yu. Opredelenie sil vzaimodejstviya osnovnyh sistem geohoda s geosredoy i mezhduboj / V.Yu. Beglyakov, V.V. Aksenov, I.K. Kostinec, A.A. Horeshok // *Gornye nauki i tekhnologii*. – 2018. – №. 4. – S. 23-30.

9. OST 12.44.258-84. Kombajny ochistnye. Vybory parametrov i raschet sil rezaniya i podachi na ispolnitel'nyh organah. Metodika. – M.: Minugleprom SSSR, 1984. – 107 s.

10. Pushkina, N.B. Razrabotka metodov i programnyh sredstv proektirovaniya ispolnitel'nyh organov vintopovorotnyh prohodkaeskih agregatov (na primere agre-gata ELANG): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.16; 05.05.06 / Pushkina Nina Borisovna. – Kemerovo, 1991. – 19 s.

11. Aksenov, V.V. Opredelenie silovyh i kinematicheskikh parametrov ispolnitel'nyh organov geohoda metodom imitacionnogo modelirovaniya / V.V. Aksenov, A.A. Horeshok, K.A. Anan'ev, A.N. Ermakov // *Vestnik kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2016. – № 1. – S. 25-30.

12. Aksenov, V.V. Ocenka vozmozhnosti primeneniya metodov imitacionnogo modelirovaniya dlya opredeleniya parametrov zakonturnykh ispolnitel'nyh organov geohoda / Aksenov V.V., Horeshok A.A., Anan'ev K.A., Ermakov A.N. // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*. – 2016. – № 2. – S. 145-152.

13. Semenchenko, A.K. Perspektivy sozdaniya prohodkaeskih kombajnov novogo tekhnicheskogo urovnya / A.K. Semenchenko, O.E. Shabaev, D.A. Semenchenko, N.V. Hicenko // *Gornaya tekhnika. Katalog-spravochnik*. – SPb: OOO «Slavutich». – 2005. – S. 60-69.

Библиографическое описание статьи

Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Шахманов В.Н. Обоснование схемы установки и направления вращения барабанов на исполнительном органе геохода // *Горное оборудование и электромеханика* – 2019. – № 4 (144). – С. 15-20.

Reference to article

Khoreshok A.A., Ananiev K.A., Ermakov A.N., Shakhmanov V.N. Justification of the installation scheme and the rotation direction of the drums on the executive body of the geokhod. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2019, no. 4 (144), pp. 15-20.