

Взаимодействие планетарно-дискового органа горного комбайна с массивом в режиме подрубки пласта

Трифанов Г. Д.¹, Куоза В. Д.^{1*}

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия
**e-mail: vladislav.kuoza@gmail.com*

Реферат

Введение. Проходческо-очистные комбайны с планетарно-дисковым исполнительным органом предполагают работу в режиме обработки полного сечения выработки и в режиме подрубки пласта по высоте. Подрубка пласта занимает 30 % от суммарного времени производительных работ и сопровождается высокими динамическими нагрузками на приводную систему исполнительного органа, что сказывается на преждевременном износе основных рабочих узлов комбайна. Особенности данного режима являются постоянное изменение количества контактирующих с горным массивом резцов. На сегодняшний день актуально математическое моделирование процесса разрушения горного массива планетарно-дисковым исполнительным органом в режиме подрубки пласта. Первым этапом является определение количества контактирующих резцов в зависимости от угла поворота резцового диска и высоты подрубки.

Цель работы – установление зависимостей количества контактирующих резцов от угла поворота исполнительного органа и высоты подрубки пласта.

Методология. В основу расчетных схем положено принципиальное конструктивное исполнение планетарно-дискового органа комбайнов. Зависимости получены на основе теоретических исследований геометрических параметров планетарно-дискового органа.

Результатами данной работы являются построение расчетных схем и математических зависимостей для определения количества контактирующих резцов в зависимости от угла поворота исполнительного органа и высоты подрубки. Получена зависимость количества контактирующих резцов от угла поворота исполнительного органа и высоты подрубки для проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р».

Выводы. Применение математической модели на примере проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р» показало периодические изменения количества контактирующих, что может приводить к амплитудным динамическим нагрузкам. Результаты проделанной работы позволяют провести математическое моделирование нагруженности приводной системы исполнительного органа проходческо-очистного комбайна.

Ключевые слова: проходческо-очистной комбайн; режим подрубки; подрубка по высоте; математическая модель; резец.

Введение. Основным видом оборудования, используемым для добычи калийной руды в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей, являются добычные комбайны с планетарно-дисковым исполнительным органом [1–4]. Данные комбайны имеют высокую эффективность при камерной системе разработки пластов, предполагающей проходку очистных выработок в несколько этапов. Первый этап заключается в работе комбайна в режиме полного сечения забоя. Второй – в режиме подрубки пласта по высоте, когда комбайн взаимодействует с горным массивом только частью исполнительного органа [5].

В последние десятилетия подробно изучались пути повышения производительности проходческо-очистных комбайнов, снижения выхода труднообогатимых мелких фракций и совершенствование технологии ведения очистных работ [6–10]. Проводились численные моделирования процесса разрушения руды резцовым инструментом горных комбайнов для выявления рациональных режимов работы их исполнительных органов [11–16].

Исследования, проводимые в области повышения эффективности проходческо-очистных комбайнов калийных рудников показали, что на работу комбайна в режиме подрубки пласта по высоте приходится 30 % от суммарного времени производительных работ [17]. Этот режим сопровождается высокими динамическими нагрузками на приводную систему исполнительного органа, что приводит к преждевременному выходу из строя основных рабочих узлов комбайна [18]. На сегодняшний день режим работы комбайнов при подрубке пласта остается малоизученным.

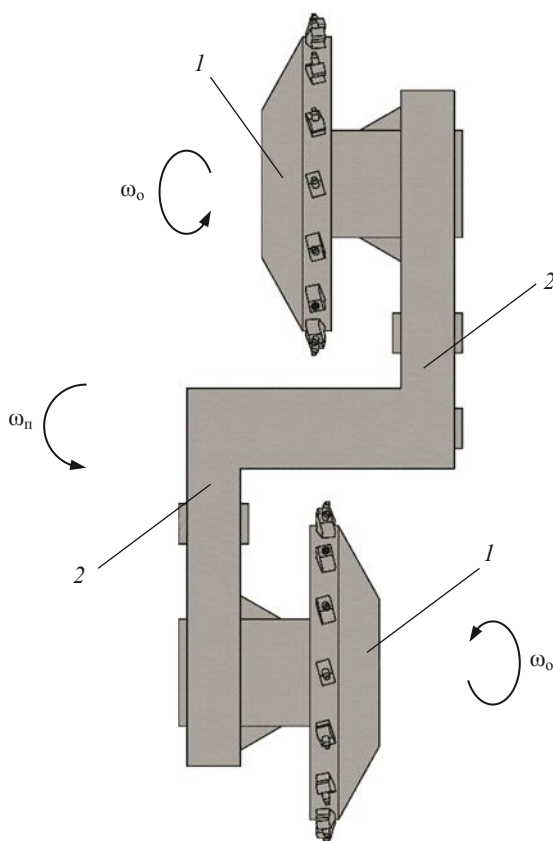


Рисунок 1. Схема планетарно-дискового исполнительного органа
Figure 1. Diagram of the planetary-disc executive body

Основными проблемами работы комбайна в режиме подрубки являются вариативность высоты подрубки, определяющаяся технологией очистных работ и мощностью пласта; постоянное изменение количества контактирующих с горным массивом резцов; превышение допустимой скорости подачи комбайна.

В настоящей работе выполнено математическое описание процесса взаимодействия планетарно-дискового исполнительного органа с горным массивом, которое в первую очередь зависит от количества резцов, находящихся в контакте с горным массивом.

Теоретическое исследование. Планетарно-дисковый исполнительный орган может быть выполнен с различными конструктивными особенностями в зависимости от модификации горного комбайна. На рис. 1 приведена принципиальная схема исполнительного органа, включающего рукояти 2 с резцовыми дисками 1.

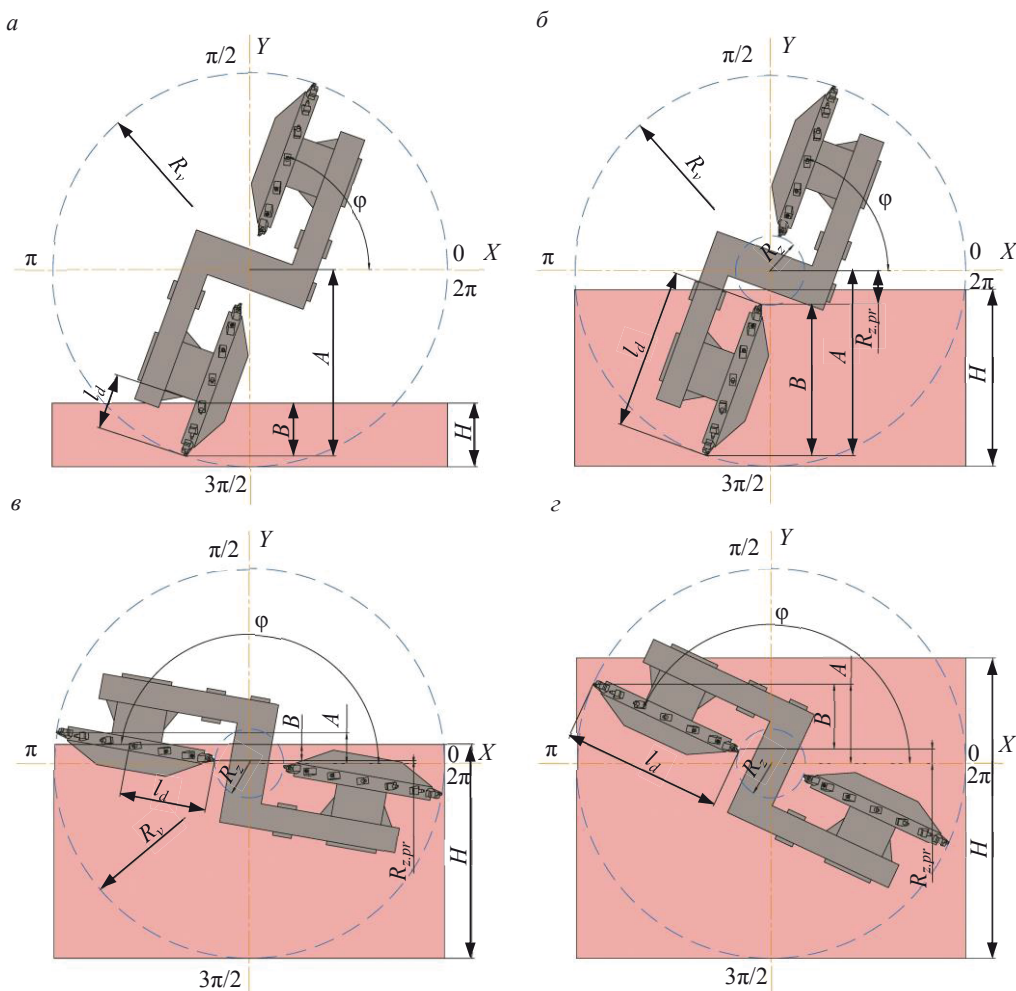


Рисунок 2. Расчетная схема определения количества резцов, контактирующих с горным массивом: а – при условии $H < R_v$ и $H < 2R_d$; б – при условии $H < R_v$ и $H \geq 2R_d$; в – при условии $H \geq R_v$ и $H \leq R_v + A$; г – при условии $H > R_v$ и $H > R_v + A$

Figure 2. Calculation scheme for the count of cutters in contact with the rock mass: а – if $H < R_v$ and $H < 2R_d$; б – if $H < R_v$ and $H \geq 2R_d$; в – if $H \geq R_v$ and $H \leq R_v + A$; г – if $H > R_v$ and $H > R_v + A$

Рукояти 2 совершают переносное вращение ω_n вокруг оси исполнительного органа, а резцовые диски 1 – относительное движение ω_0 вокруг своей оси. Резцы на резцовых дисках расположены через одинаковое расстояние, поэтому число контактирующих с забоем резцов при вращение резцовых дисков в расчетах можно принять неизменным.

Для определения количества резцов, контактирующих с горным массивом, используем полярную систему координат. Угол поворота исполнительного органа ϕ определяется числом рассматриваемых положений N (принимается не менее 120) от 0 до 2π .

Количество контактирующих резцов зависит от высоты подрубки пласта H и угла поворота исполнительного органа φ (рис. 2). Выделим четыре принципиальные расчетные схемы с разной высотой подрубки H (горный массив обозначен розовым цветом).

Определим общие данные, необходимые для всех вариантов расчетов количества резцов, контактирующих с горным массивом.

Длина проекции исполнительного органа A на ось Y определяется радиусом исполнительного органа и углом его поворота:

$$A = R_v \cdot |\sin(\varphi)|,$$

где R_v – радиус контура, описываемого планетарно-дисковым исполнительным органом, мм.

Необрабатываемая резцовыми дисками часть забоя, как правило, разрушается забурником. Это не влияет на нагруженность привода исполнительного органа. Длина проекции необрабатываемой резцовыми дисками части забоя $R_{z.pr}$ на поперечную ось Y определяется формулой:

$$R_{z.pr} = R_z \cdot |\sin(\varphi)|,$$

где R_z – расстояние от оси вращения водила исполнительного органа до ближайшего резца резцового диска, мм, $R_z = R_v - R_d$, R_d – радиус резцового диска, мм.

Резцы, установленные в резцедержателях, равномерно распределены по цилиндрической поверхности резцового диска. Расстояние между двумя соседними резцами диска L_{rez} :

$$L_{rez} = \frac{2\pi \cdot R_d}{Z_r},$$

где Z_r – количество резцов, установленных на резцовом диске, шт.

Рассмотрим вариант, при котором высота забоя меньше радиуса исполнительного органа $H < R_v$ (рис. 2, а, б). В этом случае исполнительный орган взаимодействует с горным массивом только одним резцовым диском.

Длину проекции резцового диска B на поперечную плоскость определим системой уравнений при следующих условиях:

– если высота забоя больше диаметра резцового диска $H \geq 2R_d$, то

$$B = \begin{cases} A - R_v + H, & R_{z.pr} < R_v - H, \\ 0, & A - R_v + H < 0, \\ A - R_{z.pr}, & otherwise, \end{cases}$$

– если высота забоя меньше диаметра резцового диска $H < 2R_d$, то

$$B = \begin{cases} H - R_v + A, & R_v \leq H + A, \\ 0, & otherwise. \end{cases}$$

Тогда длина резцового диска l_d , взаимодействующего с горным массивом, описывается выражением:

$$l_d = \begin{cases} \frac{B}{|\sin(\varphi)|}, & |\sin(\varphi)| > 0, \\ B, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Длина окружности резцового диска L_d , взаимодействующая с забоем:

$$L_d = \begin{cases} R_d \left[\pi - \arccos\left(\frac{l_d - R_d}{R_d}\right) \right], & l_d \geq R_d, \\ R_d \cdot \arccos\left(\frac{R_d - l_d}{R_d}\right), & l_d < R_d. \end{cases}$$

Число резцов, контактирующих с забоем Z_{c1} , определится уравнением:

$$Z_{c1} = \begin{cases} \frac{L_d}{L_{rez}} + 1, & L_d > 0, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим вариант, при котором высота подрубки пласта больше радиуса исполнительного органа $H > R_v$ (рис. 2, в, г). В этом случае исполнительный орган взаимодействует с массивом двумя резцовыми дисками, при этом один диск будет всегда находиться в контакте с горным массивом.

Длина проекции резцового диска B_2 на поперечную ось Y :

$$B_2 = \begin{cases} R_v + R_{z.pr} \leq H, \\ \begin{cases} H - R_v - R_{z.pr}, & H \leq R_v + A, \\ A - R_{z.pr}, & H > R_v + A, \end{cases} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

Длина резцового диска l_{d2} , контактирующего с забоем:

$$l_{d2} = \frac{Z_2}{|\cos(\psi)|}.$$

Длина окружности резцового диска L_{d2} , взаимодействующая с забоем:

$$L_{d2} = \begin{cases} R_d \left[\pi - \arccos\left(\frac{l_{d2} - R_d}{R_d}\right) \right], & l_{d2} \geq R_d, \\ R_d \cdot \arccos\left(\frac{R_d - l_{d2}}{R_d}\right), & l_{d2} < R_d. \end{cases}$$

Число резцов Z_{c2} , контактирующих с забоем:

$$Z_{c2} = \begin{cases} \frac{L_d}{L_{rez}} + 1 + \frac{Z_r}{2}, & L_d > 0, \\ \frac{Z_r}{2}, & otherwise. \end{cases}$$

где Z_r – общее количество резцов на резцовом диске, шт.

Объединим уравнения (1) и (2) в зависимости от условий $H < R_v$ и $H \geq R_v$. Число резцов Z_{con} , контактирующих с забоем, в зависимости от угла поворота исполнительного органа φ и высоты забоя H примет вид системы уравнений:

$$Z_{con} = \begin{cases} Z_{c1}, & H < R_v, \\ Z_{c2}, & H \geq R_v. \end{cases}$$

Нагруженность приводной системы планетарного исполнительного органа прямо пропорциональна количеству резцов, взаимодействующих с горным массивом. Тогда выявленные зависимости могут быть использованы в определении нагрузок и динамической составляющей упомянутых нагрузок на приводную систему исполнительного органа при работе в режиме подрубки по высоте.

В качестве примера рассмотрим выемочный комбайн с планетарно-дисковым органом «Урал-20Р».

Пример расчета. Определим количество резцов, взаимодействующих с горным массивом, на примере проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р» производства ОАО «Копейский машиностроительный завод».

Исходные данные проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р»
Initial data of the Ural-20R borer miner

Марка комбайна.....	Урал-20Р
Радиус исполнительного органа, мм.....	3100
Радиус резцового диска, мм.....	1280
Частота переносного вращения, об/мин.....	4,2
Количество резцов на резцовом диске, шт.....	15

График зависимости количества резцов Z_{con} , контактирующих с горным массивом, в зависимости от угла поворота исполнительного органа φ и высоты подрубки H в поперченном сечении представлен на рис. 3. Высота подрубки принималась в диапазоне от 100 до 3100 мм с шагом в 300 мм.

Анализ построенной зависимости показал, что увеличение высоты забоя до величины радиуса контура, описываемого планетарно-дисковым исполнительным органом R_v , приводит к росту количества резцов, контактирующих с забоем. При этом период, когда исполнительный орган не взаимодействует с горным массивом, сокращается.

Увеличение высоты забоя от величины радиуса контура, описываемого исполнительным органом R_v , до величины диаметра контура исполнительного органа D_{io} сопровождается ростом количества контактирующих резцов, при этом характерные выплески количества взаимодействующих резцов наблюдаются в периоде $H \in [R_v; 2200]$.

Периоды резкого увеличения или уменьшения количества резцов, взаимодействующих с горным массивом, могут приводить к амплитудным динамическим нагрузкам на приводные системы исполнительного органа.

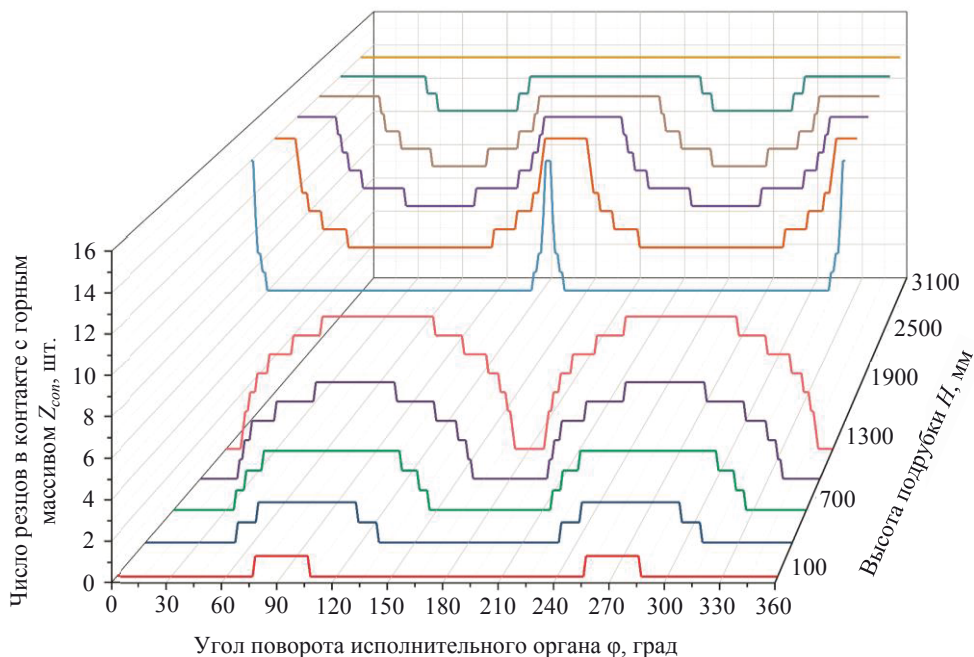


Рисунок 3. Зависимость количества резцов, взаимодействующих с горным массивом от угла поворота исполнительного органа и высоты подрубки
 Figure 3. Dependence of the number of cutters in contact with the rock mass on the executive body rotation angle and the undercutting height

Выводы. Математическая модель взаимодействия планетарно-дискового исполнительного органа с горным массивом в режиме подрубки пласта по высоте учитывает постоянно изменяющееся количество резцов, взаимодействующих с горным массивом. Количество резцов определяется углом поворота планетарного исполнительного органа и высотой подрубки.

Выявленные зависимости могут быть использованы в определении нагрузок, действующих на приводную систему исполнительного органа проходческо-очистного комбайна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старков Л. И., Земсков А. Н., Кондрашев П. И. Развитие механизированной разработки калийных руд. Пермь: Изд.-во ПГТУ, 2007. 522 с.
2. Shishlyannikov D. I., Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Ivanov S. L., Zvonarev I. E. Substantiation of the rational method to control the operating and technical-condition parameters of a heading-and-winning machine for potash mines // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. Vol. 44(3). P. 283–287.
3. Семенов В. В., Мальчер М. А., Петров В. П., Морозов С. П. Проходческо-очистные комбайны «Урал» для добычи калийной руды и каменной соли // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 8. С. 17–21.
4. Пинский В. Л. Развитие техники и технологии добычи калийных руд в России // Горный журнал. 2007. № 8. С. 13–17.
5. Методологическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия». Новосибирск: Наука, 2011. 487 с.
6. Шишлянников Д. И., Трифанов М. Г., Муравский А. К., Микрюков А. Ю., Суханов А. Е. Повышение эффективности работы проходческо-очистных комбайнов для добычи калийных руд

на основе информации о нагруженности их приводов // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 3. С. 97–105. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-97-105

7. Максимов А. Б. Повышение эффективности процесса разрушения калийного массива планетарно-дисковыми исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов типа «Урал-20Р» // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2018. № 1. С. 418–421.

8. Шишлянников Д. И., Максимов А. Б., Трифанов Г. Д., Чекмасов Н. В. Исследование процесса формирования необогатимых классов калийной руды при добыче, погрузке и транспортировании // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2019. № 2. С. 230–242.

9. Трифанов М. Г., Шишлянников Д. И., Иванов С. Л. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал» в реальных условиях эксплуатации // ГИАБ. 2018. № 1. С. 166–174. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-166-174

10. Семенов В. В., Шмакин И. Г., Жабин А. Б., Суков И. А. Обоснование параметров и выбор резцов планетарно-дискового исполнительного органа комбайна «Урал-20Р» // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2009. Вып. 3. С. 300–309.

11. Cheluszka P. Optimization of the cutting process parameters to ensure high efficiency of drilling tunnels and use the technical potential of the boom-type roadheader // Energies. 2020. Vol. 13(24). P. 65–97. DOI: 10.3390/en13246597

12. Qiao S., Wu Y., Zhu Z., Zhang Z., Lu L. Numerical investigation of rock cutting modes with conical picks under different confining pressures and cutting spaces // Arabian Journal for Science and Engineering. 2022. Vol. 47(4). P. 4559–4569. DOI: /10.1007/s13369-021-06190-6

13. Liu Z., Ni F., Wei C., Li H. Experimental and numerical investigation of roadheader for breaking rock containing predrill holes // Energy Science & Engineering. 2020. Vol. 8(7). P. 2511–2526. DOI: /10.1002/ese3.682

14. Zadkov D., Gabov V., Nguen L. K. Features of elementary burst formation during cutting coals and isotropic materials with reference cutting tool of mining machines // Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 236. С. 153–161. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.153

15. Wang Z., Zeng Q., Wan L., Lu Z., Wang H. Investigation of the influence of cutting parameters on conical pick cutting performance and rock damage // Machines. 2022. Vol. 10. Art. 1034. DOI: /10.3390/machines10111034

16. Qiao S., Xia Y., Liu Z., Liu J., Ning B., Wang A. Performance evaluation of bolter miner cutting head by using multicriteria decision-making approaches // Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing. 2017. Vol. 11. No. 5. DOI: 10.1299/jamdsm.2017jamdsm0059

17. Куоза В. Д. Режимы работы добычных комбайнов калийных рудников // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XXI междунар. науч.-техн. конф. в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 2023. С. 362–368.

18. Шишлянников Д. И., Трифанов М. Г., Трифанов Г. Д. Оценка нагруженности приводов комбайнов «Урал-20Р» при двухстадийной разработке забоя // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 234–241. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.234

Поступила в редакцию 13 июля 2023 года

Сведения об авторах:

Трифанов Геннадий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: 2983723@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7848-7873>

Куоза Владислав Дмитриевич – аспирант кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: vladislav.kuozaa@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-1482-8300>

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-6-50-59

Interaction of the mining machine planetary-disc body with the rock mass in the undercutting mode

Gennadii D. Trifanov¹, Vladislav D. Kuoza¹

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

Abstract

Introduction. Borer miner with a planetary-disc executive body works in the mode of full cutting cross-section and undercutting the seam height. Undercutting mode takes 30 % of the total working time and is accompanied by high dynamic loads on the driving system of the cutting unit, which

affects the premature wear of the main working units of the combine. The peculiarities of this mode are permanent changes in the number of cutters that are in contact with the rock mass. That is why for today the task of mathematical modeling of the process of a rock mass destruction by a planetary-disc executive body is relevant. The first step is to determine the number of contacting cutters depending on the cutting disc rotation angle and the undercut height.

Research objective is to build mathematical dependences for determining the count of contacting cutters as a function of the executive body rotation angle and the undercut height.

Methods of research. The design diagrams are based on principle design of planetary-disc undercutting body of borer miner. Dependencies are derived from theoretical studies of the of planetary-disc geometry.

Results. The results of the research are as follows: design diagrams and mathematical dependencies for determining the count of contacting cutters depending on the rotation angle of the shearer and the height of undercutting. Dependence of the count of contacting cutters on the operating unit rotation angle and undercutting height for the Ural-20R borer miner is obtained.

Conclusions. Application of mathematical model on the example of the Ural-20P borer miner has shown that there are periods when the count of contacting cutters jumps which may result in amplitude dynamic loads. The results of the work allow mathematical modelling of loading of the borer miner executive body drive system.

Keywords: borer miner; undercutting mode; undercutting the seam height; mathematical model; cutter.

REFERENCES

1. Starkov L. I., Zemskov A. N., Kondrashev P. I. *Evolution of mechanized development of potash ores*. Perm: PSTU Publishing; 2007. (In Russ.)
2. Shishlyannikov D. I., Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Ivanov S. L., Zvonarev I. E. Substantiation of the rational method to control the operating and technical-condition parameters of a heading-and-winning machine for potash mines. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2015; 44(3): 283–287.
3. Semenov V. V., Malcher M. A., Petrov V. P., Morozov S. P. The “Ural” tunneling-cleaning combines for potash ore and rock salt mining. *Mining equipment and electromechanics*. 2008; 8: 17–21. (In Russ.)
4. Pinsky V. L. Development of technique and technology of potash ore mining in Russia. *Gornyi zhurnal*. 2007; 8: 13–17. (In Russ.)
5. *Methodological Guide for mining operations at silvinit mines*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 2011. (In Russ.)
6. Shishliannikov D. I., Trifanov M. G., Muravskii A. K., Mikriukov A. Iu., Sukhanov A. E. Improving the efficiency of heading and winning machines for potash ore extraction based on their drive load data. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 3: 97–105. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2021-3-97-105.
7. Maksimov A. B. Increasing the efficiency of potash mass destruction by planetary-disc executive bodies of the Ural-20P type borer miners. In: *Problems of hydrocarbon and ore deposits development: Proceedings of the 11th All-Russian scient. tech. conf. Perm, 7–9 November, 2018*. P. 418–421. (In Russ.)
8. Shishlyannikov D. I., Maksimov A. B., Trifanov G. D., Chekmasov N. V. The research for mining of non concentratable ore grades during mining loading and transportation operations. *Izvestiia Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2019; 2: 230–242. (In Russ.)
9. Trifanov M. G., Shishlyannikov D. I., Ivanov S. L. In-situ estimation of drive loads in Ural heading-and-winning machines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii buileten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 1: 166–174. (In Russ.) Available from: doi: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-166-174
10. Semenov V. V., Shmakin I. G., Zhabin A. B., Surov I. A. Basis of parameters and selection of the planetary-disc executive body cutters of Ural-20r tunneling machine. *Izvestiia Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennie nauki = Proceedings of the Tula State University. Natural Sciences*. 2009; 3: 300–309. (In Russ.)
11. Cheluszka P. Optimization of the cutting process parameters to ensure high efficiency of drilling tunnels and use the technical potential of the boom-type roadheader. *Energies*. 2020; 13(24): 65–97. Available from: <https://doi.org/10.3390/en13246597>
12. Qiao S., Wu Y., Zhu Z., Zhang Z., Lu L. Numerical investigation of rock cutting modes with conical picks under different confining pressures and cutting spaces. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2022; 47(4): 4559–4569. (In Russ.) Available from: doi: /10.1007/s13369-021-06190-6
13. Liu Z., Ni F., Wei C., Li H. Experimental and numerical investigation of roadheader for breaking rock containing predrill holes. *Energy Science & Engineering*. 2020; 8(7): 2511–2526. Available from: doi: /10.1002/ese3.682

14. Gabov V. V., Zadkov D. A., Nguyen K. L. Features of elementary burst formation during cutting coals and isotropic materials with reference cutting tool of mining machines. *Journal of Mining Institute*. 2019; 236: 153–161. (In Russ.) Available from: doi: 10.31897/PMI.2019.2.153

15. Wang Z., Zeng Q., Wan L., Lu Z., Wang H. Investigation of the influence of cutting parameters on conical pick cutting performance and rock damage. *Machines*. 2022; 10(1034). Available from: doi:10.3390/machines10111034

16. Qiao S., Xia Y., Liu Z., Liu J., Ning B., Wang A. Performance evaluation of bolter miner cutting head by using multicriteria decision-making approaches. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. 2017; 11(5). Available from: doi: 10.1299/jamdsm.2017jamdsm0059

17. Kuosa V. D. Modes of operation of mining shearers of potash mines. In: Technological equipment for mining and oil and gas industry: *Proceedings of 21st Internat. Scient. Tech. Conf. in the framework of the Ural Mining and Industrial Decade*. Ekaterinburg. 2023. P. 362–368. (In Russ.)

18. Shishliannikov D. I., Trifanov M. G., Trifanov G. D. Ural-20R combines loading drives evaluation in two-stage development of the face. *Journal of Mining Institute*. 2020; 242: 234–241. (In Russ.) Available from: doi: 10.31897/PMI.2020.2.234

Received 13 July 2023

Information about the authors:

Gennadii D. Trifanov – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: 2983723@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7848-7873>

Vladislav D. Kuoza – PhD student, Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: vladislav.kuoza@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-1482-8300>

Для цитирования: Трифанов Г. Д., Куоза В. Д. Взаимодействие планетарно-дискового органа горного комбайна с массивом в режиме подрубки пласта // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 6. С. 50–59. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-6-50-59

For citation: Trifanov G. D., Kuoza V. D. Interaction of the mining machine planetary-disc body with the rock mass in the undercutting mode. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 6: 50–59 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-6-50-59