

## Научная статья

УДК 622.6-83

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-51-59

Трифанов Геннадий Дмитриевич, Куоза Владислав Дмитриевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

E-mail: 2983723@gmail.com, vladislav.kuoza@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗОВ  
ПЛАНЕТАРНО-ДИСКОВЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ  
ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА****Информация о статье**

Поступила:

13 июля 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 ноября 2023 г.

Принята к печати:

01 декабря 2023 г.

Опубликована:

19 декабря 2023 г.

**Ключевые слова:**

Проходческо-очистной комбайн, планетарно-дисковый исполнительный орган, скольжение электродвигателя, приводные нагрузки, формирование последовательных резов, разрушение горного массива.

**Аннотация.**

Рассмотрен процесс формирования резов планетарно-дисковым исполнительным органом проходческо-очистных комбайнов. Показаны основные технические решения компоновки приводной системы планетарно-дисковых исполнительных органов в наиболее распространенных проходческо-очистных комбайнах типа «Урал». Все известные компоновки приводной системы проходческо-очистных комбайнов с планетарно-дисковым исполнительным органом предполагают относительно вращение резовых дисков и переносное движение разрушающего органа от разных электродвигателей, что оказывает существенное влияние на формирование резов на открытой поверхности забоя. Для определения рациональных параметров резания исполнительным органом необходимо учитывать расположение последующих резов относительно ранее оставленных после поворота исполнительного органа на 180 градусов. Предложен метод расчета процентной величины смещения резов относительно предыдущих после поворота исполнительного органа на 180 град. на основе данных о нагруженности приводов планетарно-дискового исполнительного органа программно-регистрирующего комплекса ВАТУР. На процентную величину смещения резцов относительно ранее оставленных влияет скольжение приводных электродвигателей исполнительного органа, зависящее от величины действующей нагрузки. Установлена зависимость отношения частот вращения планетарно-дискового исполнительного органа и процентной величины смещения резов от величины скольжения приводных электродвигателей. Выявлено отсутствие возможности стабильного резания по новому следу с применением действующих компоновок приводных систем.

**Для цитирования:** Трифанов Г.Д., Куоза В.Д. Исследование процесса формирования резов планетарно-дисковым исполнительным органом проходческо-очистного комбайна // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 5 (169). С. 51-59. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-51-59, EDN: VNDHKD

**Введение**

Изобретение Н. П. Юдиным планетарно-дискового исполнительного органа для проходческо-очистных комбайнов дало начало целому ряду исследований в области выбора и обоснования режимных параметров разрушения и параметров режущих инструментов, компоновке проходческого комбайна и определению его конструктивных параметров, которые продолжают по сегодняшний день [1-3].

Отечественные проходческо-очистные комбайны с планетарно-дисковым исполнительным орга-

ном обеспечивают весь объем механизированной добычи калийной руды в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Основными наследниками данного типа исполнительного органа стали комбайны типа «Урал», выпускаемые ОАО «Копейский машиностроительный завод» [4].

Планетарно-дисковый исполнительный орган характеризуется наличием перпендикулярно расположенных к забою резовых дисков,

резцы которых совершают движение по сложной криволинейной траектории (Рис. 1). Это движение является результатом сложения двух враща-

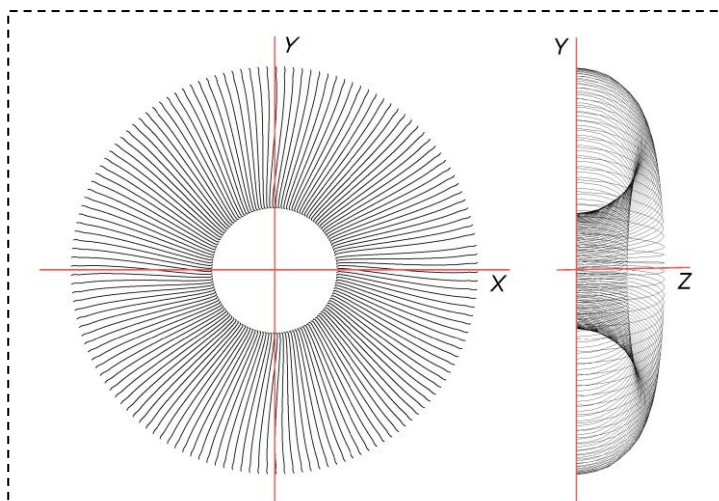


Рис. 1. Схема расположения резов планетарно-дискового исполнительного органа одного резового диска за полный оборот рукояти

Fig. 1. Schematic diagram of the cutting arrangement of a single cutter disc planetary-disc actuator per one rotation

тельных движений: относительного (вращение резового диска вокруг своей оси) и переносного (вращение исполнительного органа вокруг своей оси). Среди особенностей планетарно-дискового исполнительного органа можно выделить:

- непрерывность процесса разрушения забоя последовательными резами с открытой поверхности;
- сравнительно небольшое число резов, контактирующих с забоем;
- охлаждение резов вследствие периодического контакта с забоем;
- формирование овально-арочного сечения формы выработки при камерной системе разработки пластов [5].

Процесс формирования резов резцами планетарно-дискового исполнительного органа определяет все основные параметры разрушения горного массива и играет важную роль в развитии нагрузок на приводах исполнительного органа, гранулометрическом составе отбитой руды и надежности оборудования [6-8].

#### Анализ существующих технических решений

Технические решения в процессе формирования резов планетарно-дисковыми исполнительными органами предполагают кинематические цепи задания относительного вращения резовым диском и переносного вращения исполнительному органу. Основные применяемые решения представлены в проходческо-очистных комбайнах типа «Урал-20А» и «Урал-20Р». Остальные модификации комбайнов типа «Урал» со сдвоенным планетарно-дисковым исполнительным органом носили незначительные изменения в кинематической схеме приводной системы.

Кинематическая схема проходческо-очистного комбайна «Урал-20А» (Рис. 2) обеспечивает относительное вращение резовых дисков через приводные системы электродвигатель-редуктора исполнительного органа 1 и переносное вращение

исполнительного органа через два независимых привода электродвигатель-редуктора переносного вращения 2. При этом синхронизация переносного вращения обеспечивается за счет кинематической связи через барабан отбойного устройства 2.

В свою очередь кинематическая схема проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р» реализует

относительное вращение резовых дисков с помощью редуктора исполнительного органа и приводного двигателя для каждого исполнительного органа. Переносное вращение исполнительного органа реализуется через общий редуктор переносного вращения и приводной электродвигатель. При этом редуктор переносного вращения обеспечивает синхронизацию вращения двух планетарно-дисковых исполнительных органов.

Все известные технические решения компоновки приводной системы сдвоенных планетарно-дисковых исполнительных органов обеспечивают относительное вращение резовых дисков и переносное движение исполнительного органа от разных приводных электродвигателей.

Это оказывает существенное влияние на процесс формирования резов планетарно-дисковыми исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов.

Рациональные параметры процесса формирования резов резцами исполнительного органа на открытой поверхности горного массива определяют развитие и распространение трещин, а также форму элементарного скола в его поперечном сечении [9, 10], что сказывается на выходе необогатимых пылевидных фракций в отбитой руде. Установлено, что применение шахматного резания с рациональными параметрами позволяет снизить выход мелких фракций [11].

В данном случае работу планетарно-дискового органа необходимо рассматривать не только как процесс формирования последовательных резов, но и как расположение последующих резов, относительно ранее оставленных после поворота исполнительного органа на 180 градусов.

#### Теоретические исследования

Особенности процесса формирования резов планетарно-дискового исполнительного органа обуславливаются [12]:

- многоприводной системой задания движения;
- разветвленной кинематикой исполнительного органа;
- образованием дифференциальной передачи в результате сложения двух видов движения – главного и переносного вращения исполнительного органа;
- использование таких конструктивных элементов, как рукояти исполнительного органа, для размещения конических и цилиндрических передач.

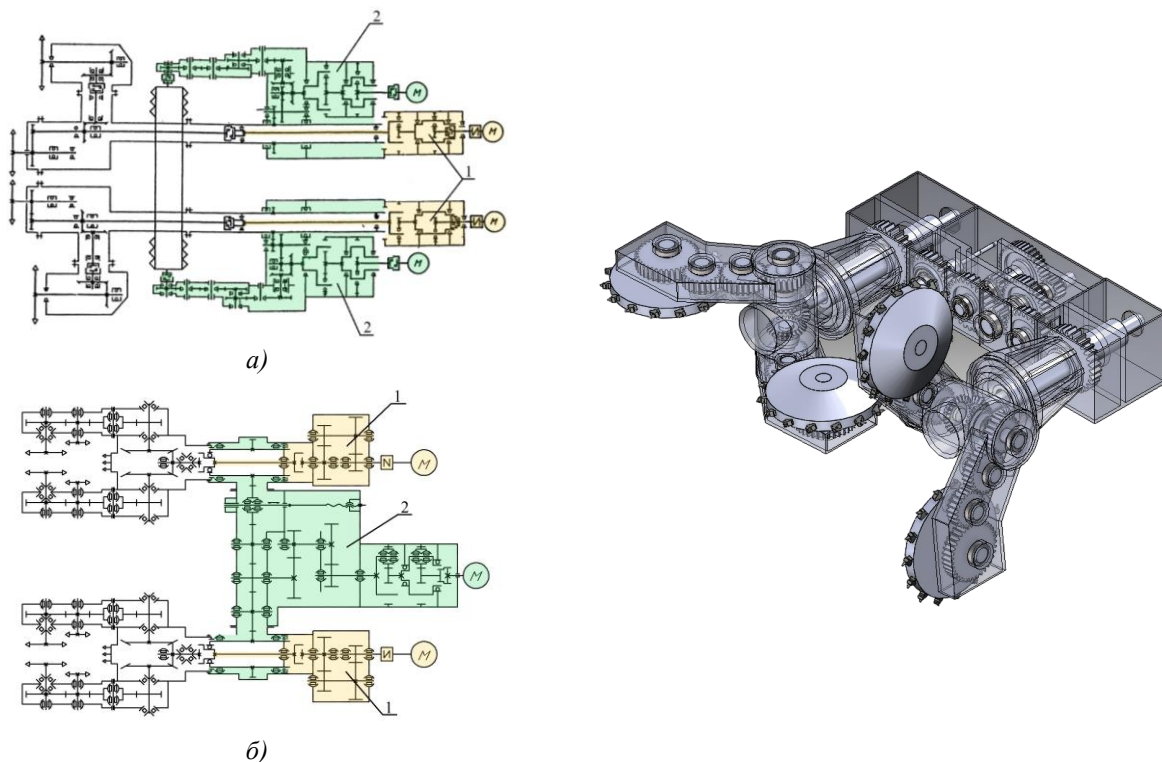


Рис. 2. Существующие технические решения компоновки приводной системы планетарно-дисковых исполнительных органов:

а) Кинематическая схема проходческо-очистного комбайна «Урал-20А»; б) Кинематическая схема проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р»; 1 – привод относительного движения резовых дисков; 2 – привод переносного движения исполнительного органа

Fig. 2. Basic technical solutions for the layout of the drive system of planetary-disc type:

а) Kinematic diagram of the Ural-20A roadheader; б) Kinematic diagram of the Ural-20R roadheader; 1 – drive of relative motion of cutting discs; 2 – drive of portable motion of the executive organ

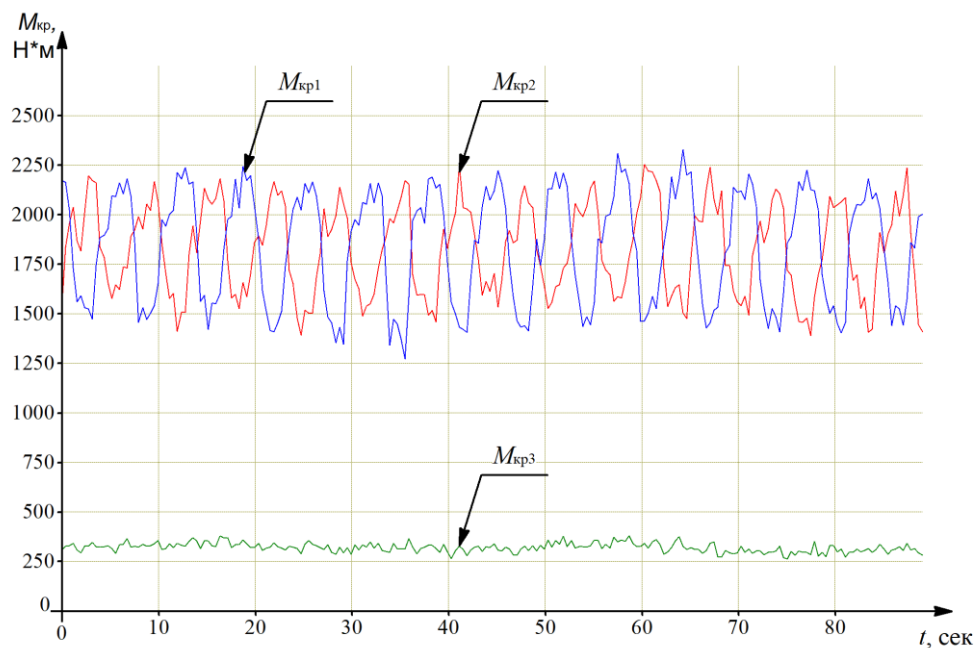


Рис. 3. График изменения крутящего момента на валу главных электродвигателей комбайна:  $M_{кр1}$  – крутящий момент левого электродвигателя относительного вращения, Н\*м;  $M_{кр2}$  – крутящий момент правого электродвигателя относительного вращения, Н\*м;  $M_{кр3}$  – крутящий момент электродвигателя переносного вращения, Н\*м;

Fig. 3. Changes in torque on the shaft of the main motors of the roadheader  
 $M_{кр1}$  – torque of the left relative rotation motor;  $M_{кр2}$  – torque of the right relative rotation motor;  $M_{кр3}$  – torque of the portable rotation motor

Основными параметрами, отвечающими за формирование резов планетарно-дискового исполнительного органа на открытой поверхности забоя, являются отношение частот вращения относительного и переносного движения и количество на каждом резцовом диске. На практике все симметричные резцовые диски исполнительного органа имеют одинаковое количество резцов для уравнивания динамических нагрузок на исполнительных органах комбайна.

Отношение частот вращения относительного и переносного движения определяется формулой [1]:

$$i = \frac{n_{от}}{n_{пер}},$$

где  $n_{от}$  – частота относительного вращения режущих дисков, об/мин;

$n_{пер}$  – частота вращения исполнительного органа при переносном движении.

Частота вращения режущих дисков и исполнительного органа при переносном вращении определяются исходя из передаточного отношения механической передачи между приводным электродвигателем исполнительного органа и режущим дис-

ком до конической передачи  $Z_{от1}$  и после  $Z_{от2}$ , между электродвигателем переносного вращения и исполнительным органом  $Z_{пер}$  и заданных скоростей приводных электродвигателей. Скорость вращения валов асинхронных приводных электродвигателей определяется заданными оборотами электродвигателя  $n_{дв.от}$ ,  $n_{дв.пер}$  и величиной скольжения  $S_{от}$ ,  $S_{пер}$ . Тогда отношение частот вращения относительного и переносного движения примет вид:

$$i(S_{от}, S_{пер}) = \frac{((n_{дв.от} - n_{дв.от} \cdot S_{от}) \cdot Z_{от1} + (n_{дв.пер} - n_{дв.пер} \cdot S_{пер}) \cdot Z_{пер}) \cdot Z_{от2}}{(n_{дв.пер} - n_{дв.пер} \cdot S_{пер}) \cdot Z_{пер}} \quad (1)$$

Кинематика планетарно-дискового исполнительного органа предполагает смещение последующих резов относительно предыдущих. Совпадение или смещение резов дисков за один оборот водила исполнительного органа определяется дробной частью от четного числа резцов:

$$i(S_{от}, S_{пер}) \cdot z_d = k + \Delta i z_d, \quad (2)$$

Где  $z_d$  – число резцов на режущем диске;

$k$  – четное число резцов;

$\Delta i z_d$  – дробная часть резцов.

Процентная величина смещения резов относи-

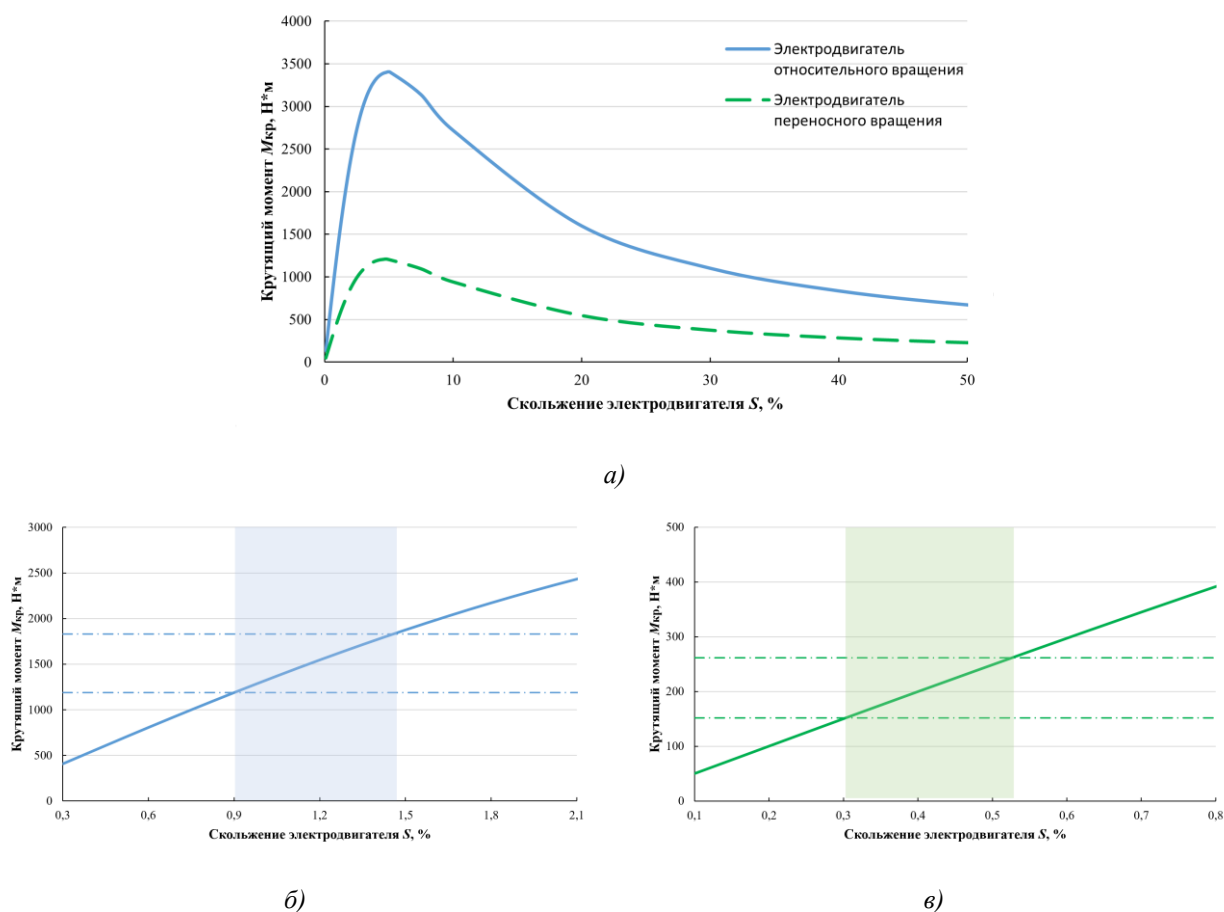


Рис. 4. Механические характеристики электродвигателей планетарно-дискового исполнительного органа:

а) полная механическая характеристика электродвигателей; б) локальный участок механической характеристики работы электродвигателя относительного вращения; в) локальный участок механической характеристики работы электродвигателя переносного вращения

Fig. 1. Mechanical characteristics of motors of the planetary-disc actuator:

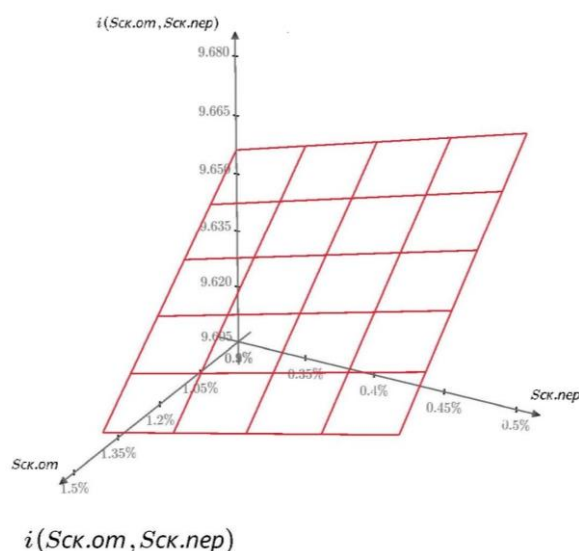
а) full mechanical characteristics of motors; б) local section of the mechanical characteristic of the relative rotation of the motor; в) local section of the mechanical characteristic of the portable rotation motor



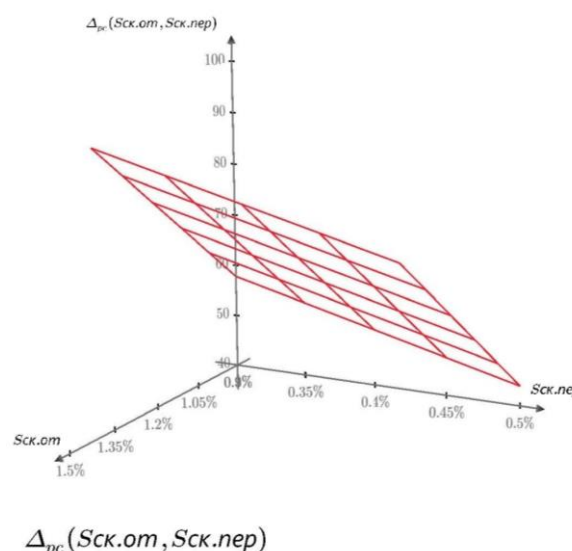
Таблица. Исходные данные проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р»

Table. Initial data of the Ural-20R roadheader

Параметры	Значение
Марка комбайна	Урал-20Р
Количество резцов на резцовом диске, $Z_d$	15 шт.
Передаточное отношение между электродвигателем и режущими дисками до конической передачи, $Z_{от1}$	0,112
Передаточное отношение между электродвигателем и режущими дисками после конической передачи, $Z_{от2}$	0,356
Передаточное отношение между электродвигателем переносного вращения и исполнительным органом $Z_{пер}$	0,003
Обороты электродвигателя режущих дисков, $n_{дв.от}$	1000
Обороты электродвигателя переносного движения, $n_{дв.пер}$	1500



а)



б)

Рис. 5. Зависимости отношения частот вращения (а) и процентной величины смещения резцов, относительно ранее оставленных (б) от величины скольжения электродвигателя

Fig. 5. Diagram of the gear ratio (a) and the percentage of cut offset (b) depending on the slip value of the motor

тельно ранее оставленных за половину оборота исполнительного органа в зависимости от величины скольжения приводных электродвигателей будет определяться системой уравнений:

$$\Delta_{pc}(S_{от}, S_{пер}) = \begin{cases} (0,5 - \frac{\Delta i_{z_d}(S_{от}, S_{пер})}{2}) \cdot 100 \text{ if } k\%2 = 0 \\ (1 - \frac{\Delta i_{z_d}(S_{от}, S_{пер})}{2}) \cdot 100 \text{ if } k\%2 > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Величина скольжения приводных электродвигателей зависит от механических характеристик применяемых электродвигателей, величины и характера нагрузок, частоты питающей сети. Стоит отметить, что согласно ГОСТ 183–74 при номинальных

нагрузках на электродвигатель величина отклонения значений скольжения может составлять +20%.

Для определения действительных нагрузок на приводную систему исполнительного органа проводились измерения с применением программно-регистрающего комплекса ВАТУР сотрудниками ООО РКЦ и кафедры ГЭМ ПНИПУ [13, 14]. Использование систем автоматического определения нагруженности приводов позволяет достоверно оценить работу оборудования в реальных условиях и выполнить выбор технически обоснованных параметров разрушения [15, 16]. На Рис. 3 представлены графики изменения крутящего момента электродвигателей исполнительного органа проходческо-очистного комбайна. Регистрировалась трехфазная активная мощность электродвигателей ис-

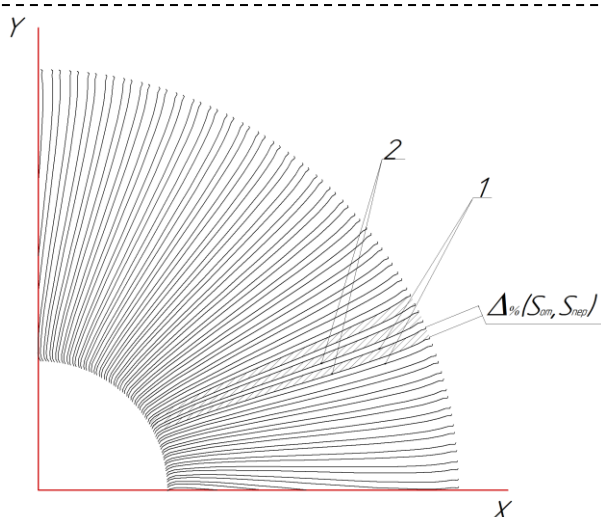


Рис. 6. Схема расположения резов на открытой поверхности забоя в зависимости от величины скольжения электродвигателей

Fig. 6. Scheme of the cutting arrangement on the open surface of the face depending on the slip value of the motor

полнительного органа, впоследствии преобразованная в крутящий момент с помощью программного обеспечения РС-ВАТУР. Проходческо-очистной комбайн работал в режиме глухого забоя с номинальной производительностью 8 т/мин. Представленные измерения позволяют установить пределы изменения крутящего момента для электродвигателей исполнительного органа комбайна. Крутящий момент для электродвигателей относительного вращения резцовых дисков составил  $M_{кр1,2}=1190 - 1830 \text{ Н*м}$ , для электродвигателя переносного вращения исполнительного органа  $M_{кр3}=152 - 262 \text{ Н*м}$ .

Для определения величины скольжения электродвигателей исполнительного органа построены механические характеристики (Рис. 4а), на которых выделены локальные участки механической характеристики работы электродвигателей с пределом изменения крутящих моментов. Диапазон изменения величины скольжения электродвигателя относительного движения составил  $S_{ск.отн}=0,9-1,46\%$ , для электродвигателя переносного вращения  $S_{ск.пер}=0,3-0,525\%$ .

Исходные данные (таблица), необходимые для проведения расчетов, приняты из самого распространенного проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р», оснащенного планетарно-дисковым исполнительным органом.

На Рис. 6 приведены результаты расчета формул (1)-(3) зависимости отношения относительной и переносной частот вращения от величины скольжения приводных электродвигателей (а) и график зависимости процентной величины смещения резов относительно ранее оставленных от величины скольжения электродвигателей (б). При этом не учитывался фактор возможного отклонения величины скольжения на +20%.

Отношение относительной, частоты вращения режущих дисков к переносному вращению исполнительного органа и процентное смещение резов относительно ранее оставленных в зависимости от

величины скольжения приводных электродвигателей изменяется в пределах  $i(S_{от}, S_{пер}) \in [9,6 ; 9,68]$  и  $\Delta_{рс}(S_{от}, S_{пер}) \in [42 ; 97]$ .

На Рис. 5 показано расположение резов в зависимости от величины скольжения приводных электродвигателей на локальном участке забоя при последовательном проходе резцов режущих дисков правой части исполнительного органа: линия 1 – резы соседних резцов одного диска, оставленные на первом обороте переносного движения; 2 – след резцов второго диска правого водила, оставленный при прохождении рассматриваемого локального участка (через угол  $180^\circ$  переносного вращения исполнительного органа)  $\Delta_{рс}(S_{от}, S_{пер})$  – определяет участок возможного расположения резов второго диска 2 в зависимости от величины скольжения.

Большой разброс возможной величины смещения последующих резов и стремление резца сойти с нового следа по причине неуравновешенности боковых усилий не позволяют обеспечить стабильное резание «по новому следу» и эффективную работу исполнительного органа при наличии действующей приводной системы.

#### Заключение

В статье рассмотрен процесс формирования резов планетарно-дисковым исполнительным органом проходческо-очистных комбайнов. Показаны распространенные приводные системы задания движения планетарно-дисковых исполнительных органов.

Выявлена зависимость между величиной скольжения приводных электродвигателей исполнительного органа и расположением резов на открытой поверхности забоя. Исследование показало невозможность обеспечить стабильное смещение резов режущих дисков относительно ранее оставленных, и, соответственно, резание по новому следу при действующей приводной системе планетарно-дисковых органов, что приводит к росту выхода мелких фракций в отбитой руде.

Для обеспечения стабильного смещения и резания по новому следу необходимо разработать приводную систему с жесткой кинематической связью между приводами относительного вращения резцовых дисков и переносного вращения исполнительного органа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комбайны проходческо-очистные для добычи калийных руд. Выбор показателей назначения и расчет параметров разрушения горных пород. Отраслевая методика. ВНИИГ. Л., 1986. 54 с.
2. Бреннер В. А., Зильберт И. С., Зыков В. А., Любошинский Д. М. Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд. М. : Недра, 1978. 216 с.
3. Shishlyannikov D. I. [et al.] 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. Т. 44. № 3. Р. 283–287.

4. Семенов В. В., Мальчер М. А., Петров В. П. Российские проходческо-очистные комбайны для добычи калийных руд и каменной соли // Глюкауф. 2007. №1. С.31–33.

5. Sankovsky A. A., Aleksenko A. G., Nikiforov A. V. Practical experience analysis: superimposed seams series mining at the Verkhnekamsk potassium-magnesium salts de-positap plyingroom-and-pillarmining method // International journal of civil engineering and technology. 2018. Vol. 9. № 6. P. 715–728.

6. Lavrenko S. A., Shishljannikov D. I., Trifanov M. G. Selecting technically justified operating modes of «Ural» combines on the basis of an evaluation of their driver load under real operating conditions // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects. 11th Conference of the Russian-German Raw Materials. 2018. P. 301–308.

7. Максимов А. Б. Повышение количества обогащаемых классов в калийной руде, добываемой проходческо-очистными комбайнами «Урал-20Р» // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. 2018. Т. 1. С.116–122.

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

9. Габов В. В., Задков Д. А., Нгуен Кхак Линь. Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин // Записки Горного института. 2019. Т. 236. С. 153–161. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.153.

10. 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. Arab J Sci Eng. 2022; 47:4559–4569. DOI: /10.1007/s13369-021-06190-6.

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

12. Кабиев С. К. Оптимизация параметров комбайнов для добычи калийных руд. М. : Недра, 1992. 239 с.

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

14. 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.

15. Liu Z., Ni F., Wei C., Li H. Experimental and numerical investigation of roadheader for breaking rock containing predrill holes. Energy Sci Eng. 2020; 8:2511–2526. DOI: /10.1002/ese3.682.

16. 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; 13:6597. <https://doi.org/10.3390/en13246597>

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Трифанов Геннадий Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29), 2983723@gmail.com

**Куоза Владислав Дмитриевич**, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29), vladislav.kuozha@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

**Трифанов Геннадий Дмитриевич** – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

**Куоза Владислав Дмитриевич** – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## INVESTIGATION OF THE PROCESS OF INCISOR FORMATION BY THE PLANETARY DISK EXECUTIVE BODY OF A TUNNELING AND CLEANING COMBINE



### Article info

Received:

13 July 2023

Accepted for publication:

30 November 2023

Accepted:

01 December 2023

Published:

19 December 2023

**Keywords:** Roadheader, planetary-disc actuator, sliding motor, drive loads, generation of consecutive cuts, destruction of the rock mass.

### Abstract.

The process of forming cuts by the planetary disk executive body of tunneling and cleaning combines is considered. The main technical solutions for the layout of the drive system of planetary-disk executive bodies in the most common "Ural" type waste-cleaning combines are shown. All known layouts of the water system of tunneling and cleaning combines with a planetary disk executive body assume relative rotation of the cutting discs and portable movement of the destructive organ from different electric motors, which has a significant effect on the formation of cuts on the open face surface. To determine the rational cutting parameters by the executive body, it is necessary to take into account the location of subsequent cuts relative to those previously left after the rotation of the executive body by 180 degrees. A method is proposed for calculating the percentage value of the displacement of the cuts relative to the previous ones after turning the executive body by 180 degrees. based on the data on the load of the drives of the planetary disk executive body of the VATUR software recording complex. The percentage value of the displacement of the incisors relative to those previously left is affected by the sliding of the drive electric motors of the executive body, depending on the magnitude of the operating load. The dependence of the ratio of the rotation frequency of the planetary disk executive body and the percentage value of the displacement of the cuts on the sliding value of the drive electric motors is established. The absence of the possibility of stable cutting along a new track using existing drive system layouts has been revealed.

**For citation:** Trifonov G.D., Kuoza V.D. Investigation of the process of incisor formation by the planetary disk executive body of a tunneling and cleaning combine. Mining Equipment and Electromechanics, 2023; 5(169):51-59 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-51-59, EDN: VNDHKD

### REFERENCES

1. Roadreaders for mining potash ores. Selection of purpose indicators and calculation of rock destruction parameters. Sectoral methodology. VNIIG. L., 1986.
2. Brenner V.A., Zilbert I.S., Zykov V.A., Lyuboshchinsky D.M. Operational regimes of harvesters for potash ore mining. Moscow: Nedra; 1978.
3. Shishlyannikov D.I. [et al.] 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.
4. Semenov V.V., Malcher M.A., Petrov V.P. Russian roadheaders for extraction of potash ores and rock salt. *Glyukauf*. 2007; 1:31–33.
5. Sankovsky A.A., Aleksenko A.G., Nikiforov A.V. Practical experience analysis: superimposed seams series mining at the Verkh-nekamsk potassium-magnesium salts deposit applying room-and-pillar mining method. *International journal of civil engineering and technology*. 2018; 9(6):715–728.
6. Lavrenko S.A., Shishljannikov D.I., Trifanov M.G. Selecting technically justified operating modes of "Ural" combines on the basis of an evaluation of their driver load under real operating conditions. *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects. 11th Conference of the Russian-German Raw Materials*. 2018. P. 301–308.
7. Maksimov A.B. Increasing the efficiency of potash massif destruction by planetary-disk actuators of Ural-20P type roadheaders. *Problems of Hydrocarbon and Ore Minerals Development*. 2018; 1:418–421.
8. Maksimov A.B. Increasing the number of enrichable classes in potash ore extracted by roadreaders "Ural-20P". *Actual problems of improving the efficiency and safety of mining and oilfield equipment operation*. 2018; 1:116–122.
9. Gabov V.V., Zadkov D.A., Nguyen Khak Linh. Peculiarities of formation of elementary splinters during cutting of coals and isotropic materials by a reference cutter of mining machines. *Notes of the Mining Institute*. 2019; 1:153–161.
10. 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. *Arab J Sci Eng.* 2022; 47:4559–4569. DOI: /10.1007/s13369-021-06190-6.

11. Shishlyannikov D.I., Maksimov A.B., Trifanov G.D., Chekmasov N.V. Study of formation of non-washable classes of potash ore during mining, loading and transportation. *Proceedings of Tula State University. Earth Sciences.* 2019; 2: 230–242.

12. Kabiev S.K. Optimization of the Parameters of Roadhears for Mining Potash Ore. M.: Nedra; 1992.

13. Trifanov M.G., Shishlyannikov D.I., Ivanov S.L. Assessment of loading of drives of Ural heading-and-winning machines under real operating conditions. *Mining Information and Analytical Bulletin.* 2018; 1:166–174. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-166-174.

14. 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. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-97-105.

15. Liu Z., Ni F., Wei C., Li H. Experimental and numerical investigation of roadheader for breaking rock containing predrill holes. *Energy Sci Eng.* 2020; 8:2511–2526. DOI: /10.1002/ese3.682.

16. 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; 13:6597. DOI: 10.3390/en13246597.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The author declares no conflict of interest.*

*About the author:*

**Gennady D. Trifonov**, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University, (29 Komsomolsky prospekt, Perm, Russia, 614990), e-mail: 2983723@gmail.com

**Vladislav D. Kuoza**, Postgraduate, Perm National Research Polytechnic University, (29 Komsomolsky prospekt, Perm, Russia, 614990), e-mail: vladislav.kuoza@gmail.com

*Contribution of the authors:*

Gennady D. Trifonov – setting a research task; scientific management; review of relevant literature; conceptualization of research; data collection and analysis; conclusions; writing a text.

Vladislav D. Kuoza – setting a research task; scientific management; review of relevant literature; conceptualization of research; data collection and analysis; conclusions; writing a text.

*Author have read and approved the final manuscript*

