ГОРНАЯ МЕХАНИКА. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТРАНСПОРТ

УДК 622.23.05 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-97-105

Повышение эффективности работы проходческо-очистных комбайнов для добычи калийных руд на основе информации о нагруженности их приводов

Шишлянников Д. И.[1]*, Трифанов М. Г.[1], Муравский А. К.[1], Микрюков А. Ю.[1], Суханов А. Е.[1]

[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

e-mail: dish844@gmail.com

Реферат

Введение. *Рассмотрены вопросы, связанные с обоснованием рациональных параметров процесса разрушения калийного массива пространственными планетарно-дисковыми исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов. Указывается на перспективность внедрения автоматических систем управления приводами планетарных исполнительных органов комбайнов для поддержания параметров разрушения забоя в диапазонах рациональных значений.*

Методология исследования. *Выполнен расчет параметров разрушения калийного массива резцами планетарно-дисковых исполнительных органов наиболее современных отечественных проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р». Показано, что при номинальной производительности более 7 т/мин главные исполнительные органы комбайна разрушают забой резами с малым шагом, что обусловливает повышение удельных энергозатрат процесса отбойки и увеличение количества пылевидных труднообогатимых классов в добываемой руде.*

Результаты. *Предложен способ автоматического регулирования частоты переносного вращения резцовых дисков планетарных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал», обеспечивающий реализацию процесса разрушения калийного массива с рациональными параметрами резания на основе информации о нагруженности приводных двигателей.*

Выводы. *Реализация технических решений, описанных в статье, обеспечит повышение эффективности добычи калийных руд механизированным способом. Разработка и внедрение систем автоматического управления планетарно-дисковыми исполнительными органами комбайнов, функционирующих на основе информации о нагруженности приводов, обеспечит повышение адаптивности и энергоэффективности работы комбайнов в реальных условиях эксплуатации.*

Ключевые слова: *проходческо-очистной комбайн; исполнительный орган; рациональные режимные параметры; способ автоматического управления.*

Введение. Современные горные предприятия, осуществляющие добычу калийных солей подземным способом, широко используют механизированные комбайновые комплексы и камерную систему разработки. На рудниках России и стран СНГ наибольшее применение нашли проходческо-очистные комбайны «Урал» производства АО «Копейский машиностроительный завод» (г. Копейск, Челябинская обл.). Данные комбайны поставляются на рудники России и стран СНГ уже более 40 лет и в целом характеризуются положительными отзывами сотрудников инженерно-технических и сервисных служб добывающих предприятий.

Увеличение объемов добычи калийно-магниевых руд, интенсификация процессов разработки соляных месторождений и ухудшение горно-геологических

условий работы добычных машин обусловливает необходимость совершенствования проходческо-очистных комбайнов, повышения их адаптивности посредством применения современных систем управления и контроля, обеспечивающих функционирование рабочего оборудования комбайнов с рациональными режимными параметрами.

Обеспечение рациональных параметров процесса разрушения соляного массива исполнительными органами комбайнов «Урал» возможно посредством корректной оценки нагруженности их приводов, что позволяет уменьшить удельные энергозатраты на добычу калийной руды и улучшить ее гранулометрический состав [1].

Методологические основы исследования. В многочисленных работах сотрудников отраслевых и научно-исследовательских институтов указывается, что достоверная оценка величины и характера изменения нагрузок приводов горных комбайнов возможна посредством регистрации мгновенных значений активной мощности, потребляемой двигателями при работе добычной машины непосредственно в забое [2, 3]. Мощность, потребляемая электродвигателями комбайнов «Урал» в установившемся режиме работы, изменяется относительно среднего значения с определенной амплитудой и частотой колебаний. Нагрузку на приводных двигателях режущих исполнительных органов формируют в основном сопротивляемость массива резанию $A_р(T)$ и скорость подачи комбайна $V_п(T)$. Силы резания $P_z(T)$ определяются произведением функций $A_р(T)$ и средней толщины среза $h_{ср}(T)$, зависящей от скорости подачи $V_п(T)$. Таким образом, мощность привода режущего исполнительного органа $N_р(T)$ определяется зависимостью

$$N_р(T) = \xi_{тр}\left[A_р(T)K_{пр}V_п(T)K_{ри}V_р(T)\right],$$

где $\xi_{тр}$ – коэффициент, учитывающий динамические свойства трансмиссии и электропривода; $K_{пр}$ – коэффициент пропорциональности, характеризующий отношение толщины среза к скорости подачи комбайна; $K_{ри}$ – коэффициент, учитывающий конструктивные параметры режущего инструмента и параметры схемы резания; $V_р(T)$ – функция изменения скорости резания во времени T.

При работе комбайна «Урал» в очистной камере скорость его подачи $V_п$ регулируется машинистом по условию

$$N_р \to \text{const}; \qquad V_р = \text{const}; \qquad V_п = \text{var}.$$

Ручной способ управления комбайном обусловливает сложность оптимизации процесса разрушения массива по удельным энергозатратам и количеству необогатимых классов руды в продуктах отбойки. Критерием выбора скорости подачи комбайна на забой $V_п$ выступает информация о загруженности приводов исполнительных органов, определяемая по индикаторам потребляемых токов.

Известно, что минимальные удельные энергозатраты разрушения калийного массива резцами комбайнов обеспечиваются при отношении шага резания к толщине стружки $t/h \approx 2$–4, а толщина и шаг резания могут рассматриваться в качестве основных режимных параметров [4].

Рассмотрим особенности процесса разрушения забоя резцами пространственных планетарно-дисковых исполнительных органов добычных машин на примере наиболее современных и энерговооруженных комбайнов «Урал-20Р-11».

Резцы планетарных исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р-11» разрушают забой радиальными резами, характеризующимися переменными шагом резания t и толщиной стружки h. Изменение шага резания t и толщины стружки h

в зависимости от угла поворота диска для планетарного исполнительного органа комбайна «Урал-20Р-11» описывается уравнениями

$$t = \left[2\pi n_{\text{пер}}\sqrt{A^2 + \left(C - r_{\text{д}}\cos\varphi\right)^2}\right]\left(n_{\text{отн}} z_{\text{д}}\right)^{-1};$$

$$h = \left(10^3 V_{\text{п}}\sin\varphi\right)\left(k_{\text{д}} n_{\text{пер}}\right)^{-1},$$

где t – мгновенное значение шага резания, мм; h – мгновенное значение толщины стружки, мм; φ – угол поворота диска, рад; $r_{\text{д}}$ – радиус поворотного диска, мм; C – расстояние от оси вращения диска до оси вращения водила, мм; A – боковое смещение режущего диска относительно оси вращения водила; $z_{\text{д}}$ – количество резцов на поворотном диске, шт.; $n_{\text{отн}}$ – частота относительного вращения дисков, об/мин; $n_{\text{пер}}$ – частота переносного вращения дисков, об/мин; $k_{\text{д}}$ – количество резцовых дисков на исполнительном органе, шт. [5].

Вследствие изменения t и h при разрушении калийного массива резцами планетарных исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р-11» выбор рациональных параметров резания, обеспечивающих минимальные удельные энергозатраты разрушения соляного массива, осуществляют по средним значениям шага резания $t_{\text{ср}}$ и толщины стружки $h_{\text{ср}}$, которые определяют по формулам

$$t_{\text{ср}} = \pi n_{\text{пер}}\left(H_i - D_{\text{и.о}}\right)\left(z_{\text{д}} n_{\text{отн}}\right)^{-1}; \quad (1)$$

$$h_{\text{ср}} = 360 h_{\max} H_i\left(\pi D_{\text{и.о}}\arccos\left(1 - 2H_i D_{\text{и.о}}^{-1}\right)\right)^{-1}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ср}}$ – средний шаг резания, мм; $h_{\text{ср}}$ – средняя толщина стружки, мм; $h_{\max}$ – максимальная толщина стружки, мм; H_i – высота массива, разрушаемого исполнительным органом, мм; $D_{\text{и.о}}$ – диаметр диска планетарного исполнительного органа по резцам, мм [6].

Из зависимостей (1) и (2) следует, что изменение значений среднего шага резания $t_{\text{ср}}$, толщины стружки $h_{\text{ср}}$ и обеспечение рационального отношения $t_{\text{ср}}/h_{\text{ср}}$ возможно посредством изменения частоты переносного вращения резцовых дисков $n_{\text{пер}}$, что представляется рациональным вследствие низкой загруженности данного привода у комбайнов «Урал-20Р-11» [1].

На рис. 1 представлены полученные расчетным путем графики изменения отношения среднего шага резания к средней толщине стружки $t_{\text{ср}}/h_{\text{ср}}$ при различных частотах переносного вращения резцовых дисков комбайна «Урал-20Р-11» (в диапазоне $n_{\text{пер}}$ = 4,2–5,8 мин$^{-1}$) в зависимости от скорости подачи выемочной машины на забой ($V_{\text{п}}$ = 0,10–0,25 мин$^{-1}$).

Анализ графиков показывает, что при работе комбайна со скоростью подачи, обеспечивающей номинальную производительность Q = 7–8 т/мин, отношение $t_{\text{ср}}/h_{\text{ср}}$ не входит в диапазон рациональных значений от 2 до 4. Обеспечение рациональных значений отношения $t_{\text{ср}}/h_{\text{ср}}$ при работе планетарно-дисковых исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» возможно путем изменения частоты переносного вращения (рис. 1, поз. *2–5*), что позволит при заданных скорости подачи и производительности выемочной машины обеспечить минимальные удельные энергозатраты и улучшить гранулометрический состав отделяемой от массива руды [8].

Результаты. Авторами предложен способ автоматического управления комбайном «Урал-20Р-11», суть которого заключается в следующем. Комбайн «Урал»

оборудуется бортовым компьютером, частотным преобразователем для изменения скорости переносного вращения дисков планетарных органов, сервоприводом регулятора расхода рабочей жидкости в системе механизма хода. Оценка нагруженности приводов исполнительных органов комбайна реализуется по действующим значениям активной мощности, потребляемой приводными двигателями. Скорость подачи комбайна контролируется посредством датчика скорости.

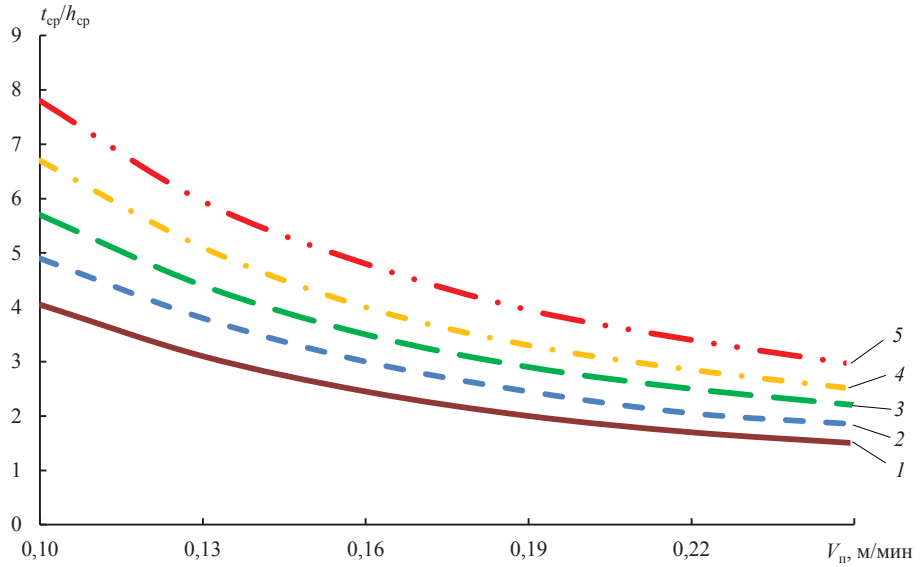

Рис. 1. Графики изменения отношения $t_{ср}/h_{ср}$ при работе планетарно-дисковых исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р-11» в зависимости от скорости подачи $V_п$ и частоты переносного вращения $n_{пер}$, мин$^{-1}$:
1 – 4,2; *2* – 4,6; *3* – 5,0; *4* – 5,4; *5* – 5,8

Fig. 1. Graphs of t_{cut}/h_{cut} ratio behavior under "Ural-20R-11" combines planetary disk cutting tools operation depending on the feed speed V_f and translational rotation speed n_{transl}, min^{-1}:
1 – 4.2; *2* – 4.6; *3* – 5.0; *4* – 5.4; *5* – 5.8

При движении комбайна в выработке при достижении заданной скорости подачи $V_{зад}$ регулируют частоту переносного вращения резцовых дисков. Тем самым достигается рациональное значение отношения шага резания к толщине стружки $t_{ср}/h_{ср}$, при котором нагруженность приводов относительного вращения резцовых дисков близка к минимальной. Алгоритм предлагаемого автоматического способа управления комбайном «Урал-20Р-11» описывается блок-схемой, представленной на рис. 2.

В бортовой компьютер комбайна вводятся максимально допустимые значения мощностей, потребляемых двигателями породоразрушающих исполнительных органов:

– двигателями относительного движения $N_{max\ отн\ 1}$ и $N_{max\ отн\ 2}$;
– двигателями бермовых исполнительных органов $N_{max\ берм\ 1}$ и $N_{max\ берм\ 2}$;
– двигателем отбойного устройства $N_{max\ отб}$;
– двигателем переносного вращения $N_{max\ пер}$.

Задается скорость подачи добычной машины на забой $V_{зад}$ и начальная частота вращения вала двигателя переносного вращения дисков *n*. При нажатии кнопки «ПУСК» и запуске автоматического управления бортовой компьютер комбайна начинает последовательный опрос датчиков мощности с целью определения фактических значений активных мощностей, потребляемых двигателями породоразрушающих исполнительных органов (двигателей относительного движения

$N_{факт.отн\ 1}$ и $N_{факт.отн\ 2}$; двигателей бермовых исполнительных органов $N_{факт.берм\ 1}$ и $N_{факт.берм\ 2}$; двигателя отбойного устройства $N_{факт.отб}$; двигателя переносного вращения $N_{факт.пер}$) и сравнения их с установленными максимально-допустимыми значениями. В случае превышения фактического значения мощности двигателя

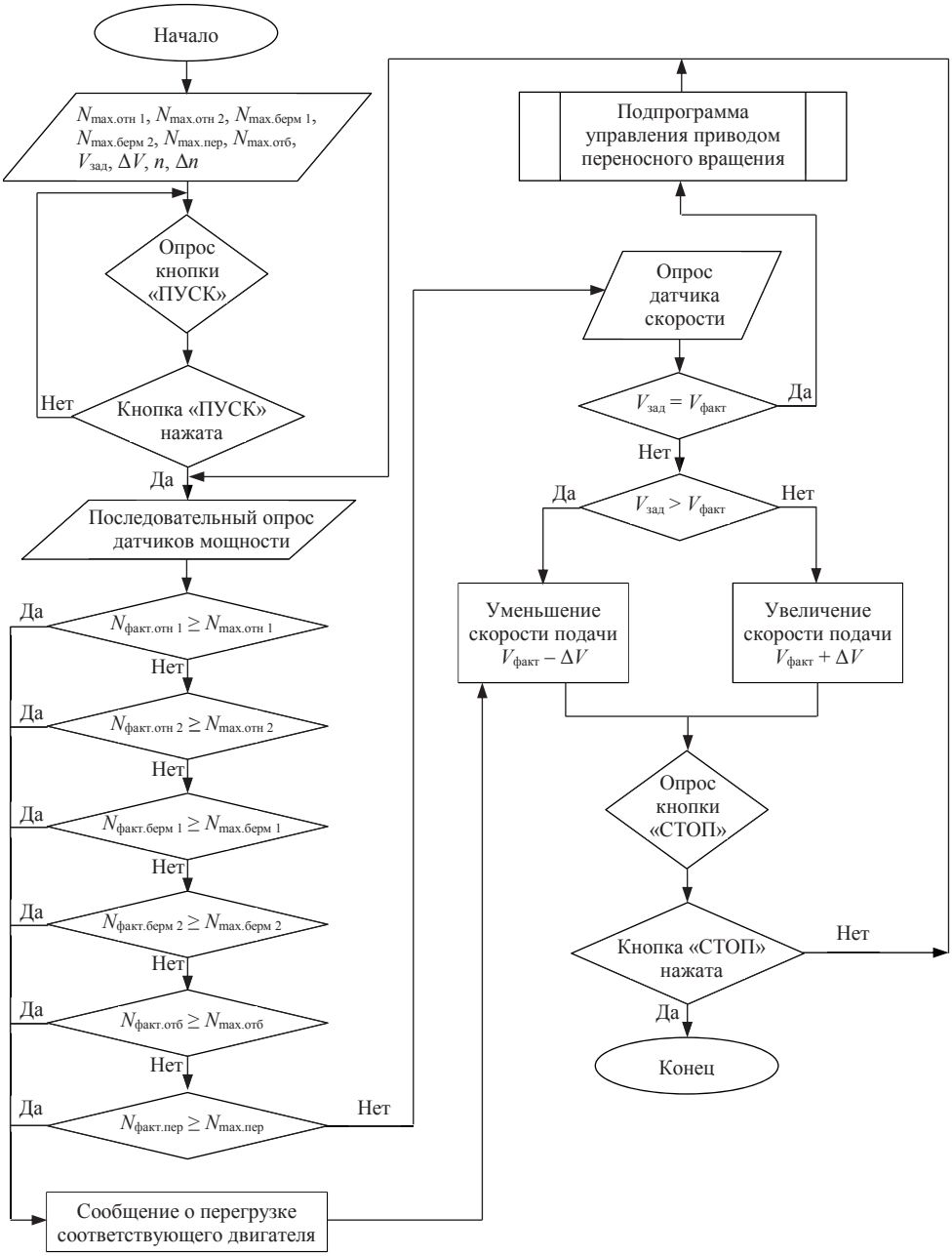

Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы способа управления проходческо-очистным комбайном «Урал-20Р-11»
Fig. 2. Flow diagram of the “Ural-20R-11” combine control method

какого-либо исполнительного органа над заданным на сервопривод регулятора потока гидросистемы механизма хода подается управляющий сигнал и осуществляется дискретное уменьшение скорости подачи комбайна на забой на величину ΔV.

На дисплее машиниста отображается информация о перегрузке соответствующего двигателя.

Если фактические значения активной мощности, потребляемой приводными двигателями, меньше максимально допустимых, то бортовой компьютер осуществляет опрос датчика скорости, определение фактического значения скорости подачи комбайна на забой $V_{факт}$ и сравнение $V_{факт}$ с заданным значением скорости

Рис. 3. Подпрограмма управления приводом переносного вращения резцовых дисков
Fig. 3. Cutting disks translational rotation drive control procedure

подачи $V_{зад}$. Если фактическое значение скорости подачи комбайна $V_{факт}$ больше(меньше) заданного значения $V_{зад}$, то на сервопривод регулятора потока гидросистемы механизма хода комбайна подается управляющий сигнал и осуществляется дискретное уменьшение (увеличение) скорости подачи комбайна на величину ΔV.

При достижении заданной скорости подачи комбайна ($V_{факт} = V_{зад}$) реализуется подпрограмма управления двигателем переносного вращения (рис. 3). Изменение частоты переносного вращения резцовых дисков осуществляется

частотным преобразователем. Удельные энергозатраты разрушения массива планетарным исполнительным органом комбайна «Урал-20Р-11» определяются по формуле

$$H_w = \left(N_{\text{отн}} + N_{\text{пер}}\right)\left(60F_{\text{и.о}}V_{\text{п}}\right)^{-1}, \quad (3)$$

где $N_{\text{пер}}$ – мощность, потребляемая двигателями переносного вращения резцовых дисков комбайна «Урал», кВт; $N_{\text{отн}}$ – мощность, потребляемая двигателем относительного вращения резцовых дисков комбайна «Урал-20Р-11», кВт; $F_{\text{и.о}}$ – площадь забоя, обрабатываемая планетарным исполнительным органом, м^2.

С учетом того, что в формуле (3) $F_{\text{и.о}}$ = const, $V_{\text{п}}$ = const, а $N_{\text{пер}} << N_{\text{отн}}$ решение на изменение скорости переносного вращения планетарного исполнительного органа осуществляется путем удержания в заданном диапазоне величины мощности, потребляемой наиболее нагруженными двигателями приводов относительного вращения резцовых дисков планетарного исполнительного органа. Снижение энергопотребления двигателей относительного вращения обеспечивается рациональным отношением шага резания к толщине стружки $t_{\text{ср}}/h_{\text{ср}}$ посредством изменения частоты вращения вала двигателя переносного вращения резцовых дисков.

В начале работы подпрограммы управления двигателем переносного вращения (рис. 3) осуществляется опрос датчика мощности двигателей относительного вращения резцовых дисков, определяются и сравниваются между собой значения активных мощностей $N_{\text{факт.отн 1}}$ и $N_{\text{факт.отн 2}}$. Максимальному значению $N_{\text{факт.отн}}$ присваивается индекс N_n. Управление приводом переносного вращения планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна реализуется посредством использования преобразователя частоты питающего напряжения. В процессе регулирования фактическая частота переносного вращения резцовых дисков n дискретно увеличивается на заданную величину Δn.

Опрос датчика позволяет определить фактическое значение потребляемой мощности $N_{n+\Delta n}$. Пока выполняется условие $N_n > N_{n+\Delta n}$, частота переносного вращения резцовых дисков дискретно увеличивается. В случае увеличения потребляемой мощности двигателя относительного вращения ($Nn < N_{n+\Delta n}$) частота переносного вращения резцовых дисков дискретно уменьшается на величину $2\Delta n$. Достижение минимальных (или близких к минимальным) значений потребляемой мощности $N_{\text{факт.отн}}$ позволяет минимизировать удельные энергозатраты процесса разрушения горного массива планетарно-дисковыми исполнительными органами комбайна [9].

При работе комбайна неполным забоем заданную скорость подачи $V_{\text{зад}}$ следует ограничивать по условию максимальной допустимой толщины стружки с целью недопущения контакта кулаков-резцедержателей с разрушаемым калийным массивом и возникновения сверхнормативных динамических нагрузок [10–12].

Выводы. При разрушении калийного массива резцами пространственных планетарно-дисковых исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р-11» рациональное отношение шага резания к толщине стружки $t_{\text{ср}}/h_{\text{ср}}$ обеспечивается изменением скорости переносного вращения дисков. Решение на изменение скорости переносного вращения осуществляется путем удержания в заданном диапазоне величины мощности электродвигателя привода относительного вращения, необходимой для эффективного функционирования исполнительного органа при неизменной скорости подачи комбайна. Предложенный способ управления проходческо-очистным комбайном «Урал» обеспечивает реализацию

процесса разрушения калийного массива с рациональными параметрами резания на основе информации о нагруженности приводных двигателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шишлянников Д. И., Чекмасов Н. В., Трифанов М. Г., Габов В. В., Иванов С. Л., Асонов С. А. Повышение эффективности эксплуатации проходческо-очистных комбайнов калийных рудников на основе анализа записей регистраторов параметров // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 4(113). С. 3–10.

2. Красников Ю. Д., Солод С. В., Хазанов Х. И. Повышение надежности горных выемочных машин. М.: Недра, 1989. 215 с.

3. Выбор параметров выемочных машин. Научно-методические основы / А. В. Докукин [и др.]. М.: Наука, 1976. 144 с.

4. Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд / В. А. Бреннер [и др.]. М.: Недра, 1978. 216 с.

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

6. Комбайны проходческо-очистные для добычи калийных руд. Выбор показателей назначения и расчет параметров разрушения горных пород. Отраслевая методика. Л.: ВНИИГ, 1986. 54 с.

7. Харламова Н. А. Исследование механизма разрушения соляных горных пород резцовым инструментом: дис. … канд. техн. наук. Пермь: ПГТУ, 1998. 173 с.

8. Шишлянников Д. И. Совершенствование органов разрушения проходческо-очистных комбайнов типа «Урал» // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. № 2(46). С. 71–74.

9. Способ управления горным комбайном с планетарно-дисковым исполнительным органом: пат. RU 2618630 C1 МПК E 21 C35/24. № 2016110648; заявл. 22.03.2016; опубл. 05.05.2017. Бюл. № 13. 11 с.

10. 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.

11. 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). P. 283–287.

12. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 042132.

Поступила в редакцию 22 февраля 2021 года

Сведения об авторах:

Шишлянников Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: dish844@gmail.com

Трифанов Михаил Геннадьевич – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: mt59@mail.ru

Муравский Александр Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: mak2000mak@yandex.ru

Микрюков Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: alexey_mic@mail.ru

Суханов Андрей Евгеньевич – студент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: andy1997sae@gmail.com

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

Improving the efficiency of heading and winning machines for potash ore extraction based on their drive load data

Dmitrii I. Shishliannikov[1], Mikhail G. Trifanov[1], Aleksandr K. Muravskii[1], Aleksei Iu. Mikriukov[1], Andrei E. Sukhanov[1]

[1] Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

Abstract

Introduction. *The article considers the substantiation of rational parameters of potash rock mass fragmentation by the planetary disk cutting tools of heading and winning machines. The implementation of automatic planetary tool drives control systems is regarded as promising. The automatic drive control system allows maintaining the parameters of potash mass destruction in the ranges of rational values.*

Research methodology. *The parameters of potash rock mass destruction by the cutters of planetary-disk cutting tools in modern combines "Ural-20R" were calculated. It was revealed that at a productivity of 7 t/min, the main cutting tools destroy the massif with a small cutting spacing. The small cutting pitch is the reason for the increased yield of unmanageable classes in the mined ore.*
Results. *A method is proposed for automatic control of the "Ural" combine planetary tool cutting discs translational rotational speed. This method will make it possible to destroy the potash mass with rational cutting parameters, based on drive load data.*
Findings. *The proposed technical solutions will increase the efficiency of potash ore mining by the heading and winning machines. Automatic control systems for planetary disc cutting tools operating based on drive load data will increase the adaptability and energy efficiency of the heading and winning machines under actual operating conditions.*

Keywords: *heading and winning machine; cutting tool; rational operating parameters; automatic control method.*

REFERENCES

1. Shishliannikov D. I., Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Gabov V. V., Ivanov S. L., Asonov S. A. Improving the efficiency of combines potash mines in the analysis of records. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics.* 2015; 4(113): 3–10. (In Russ.)
2. Krasnikov Iu. D., Solod S. V., Khazanov Kh. I. *Improving the reliability of mining machines.* Moscow: Nedra Publishing; 1989. (In Russ.)
3. Dokukin A. V. et al. *Selecting the parameters of excavating machines. Scientific and methodological foundations.* Moscow: Nauka Publishing; 1976. (In Russ.)
4. Brenner V. A. et al. *Combine operating modes for potash ore extraction.* Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
5. Kabiev S. K. *Combine parameters optimization for potash ore extraction.* Moscow: Nedra Publishing; 1992. (In Russ.)
6. *Heading and winning machines for potash ore extraction. Choosing destination indicators and calculating rock destruction parameters. Branch methodology.* Leningrad: VNIIG Publishing; 1986. (In Russ.)
7. Kharlamova N. A. *Studying the mechanism of salt rocks destruction with a cutting tool.* PhD dis. Perm: PSTU Publishing; 1998. (In Russ.)
8. Shishliannikov D. I. Enhancement of the bodies of destruction of heading-and-winning machines of the "Ural" type. *Izvestiia Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University.* 2017; 2(46): 71–74. (In Russ.)
9. Chekmasov N. V., Shishliannikov D. I., Trifanov M. G., Asonov A. S. *Method of controlling a mining machine with a planetary-disk executive body.* Patent RF no. 2618630; 2017. (In Russ.)
10. Lavrenko S. A., Shishliannikov 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. In: *Innovation-based development of the mineral resources sector: challenges and prospects: Proceedings of the 11th Conference of the Russian-German Raw Materials.* 2018. p. 301–308.
11. Shishliannikov 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.
12. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2018. P. 042132.

Received 22 February 2021

Information about authors:

Dmitrii I. Shishliannikov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: dish844@gmail.com
Mikhail G. Trifanov – PhD (Engineering), researcher, Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: mt59@mail.ru
Aleksandr K. Muravskii – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: mak2000mak@yandex.ru
Aleksei Iu. Mikriukov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: alexey_mic@mail.ru
Andrei E. Sukhanov – student, Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: andy1997sae@gmail.com

Для цитирования: 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
For citation: 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