

Определение рациональных параметров шнековых грузчиков проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»

Алексей Борисович МАКСИМОВ*,
Дмитрий Игоревич ШИШЛЯННИКОВ**,
Николай Васильевич ЧЕКМАСОВ***

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, Пермь

Введение. Для предприятий, осуществляющих добычу калийных солей с использованием проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р», актуальной является задача снижения количества пылевидных необогатимых классов в калийной руде. Решение данной задачи возможно посредством совершенствования конструкции шнековых погрузочных органов комбайнов.

Методика определения рациональных параметров работы шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р». Выполнен анализ факторов, оказывающих влияние на интенсивность процесса измельчения калийной руды при погрузке шнековым органом. Указаны основные критерии выбора рациональных параметров шнековых грузчиков проходческо-очистных комбайнов. Приведены математические зависимости, разработана расчетная схема определения рационального значения коэффициента заполнения поперечного сечения шнека, при котором обеспечивается минимальная циркуляция руды в спиральных каналах шнека. Доказано, что работа шнековых грузчиков при номинальной производительности комбайнов «Урал-20Р-11/12» сопровождается повышенной степенью заполнения межлопастного пространства и циркуляцией руды, что обуславливает увеличение количества пылевидных необогатимых классов в продуктах отбойки.

Определение рациональных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р». Определение рациональных конструктивных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р» выполнено исходя из условия обеспечения номинальной производительности выемочных машин при наименьшей циркуляции руды в спиральных каналах шнековых грузчиков. Установлена и проанализирована зависимость изменения рационального коэффициента заполнения и производительности шнекового органа по погрузке. Расчетным путем определена рациональная величина диаметра ступицы шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р-11/12», при которой обеспечиваются минимальная циркуляция и переизмельчение руды в спиральных каналах шнека. Предложены технические решения по совершенствованию конструкции шнеков.

Заключение. Сделан вывод о том, что конструктивные параметры шнековых грузчиков следует рассчитывать из условия обеспечения минимальной циркуляции руды в призабойном пространстве и спиральных каналах шнеков. Снижение измельчения руды может быть обеспечено путем уменьшения диаметра ступицы шнека с 0,4 м до 0,35–0,37 м.

Ключевые слова: проходческо-очистной комбайн, рациональные параметры шнеков выемочных машин, циркуляция руды в призабойном пространстве, гранулометрический состав калийной руды, пылеобразование при работе проходческо-очистного комбайна.

Введение
Добыча калийной руды подземным способом на предприятиях России и стран СНГ осуществляется с использованием проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» производства АО «Копейский машиностроительный завод». Данные комбайны оснащены комбинированными исполнительными органами бурового типа и гусеничным ходовым оборудованием [1].

Исполнительные органы комбайнов «Урал-20Р» совмещают в своей работе процессы отделения руды от массива с ее погрузкой с почвы выработки на скребковый конвейер-перегрузатель, который осуществляет удаление отбитой горной массы из призабойной зоны и дальнейшую выгрузку в аккумулялирующие емкости либо средства участкового транспорта. В качестве погрузочно-транспортирующего оборудования в комбайнах «Урал-20Р» используются шнеки, обеспечивающие разрушение массива (зачистку почвы выработки) и перемещение горной массы к загрузочному окну скребкового конвейера.

Работа современных модификаций комбайнов «Урал-20Р-11/12» при номинальной технической производительности $Q = 8$ т/мин характеризуется повышенной степенью заполнения шнековых грузчиков калийной рудой. В процессе транспортирования и погрузки часть руды перебрасывается через ступицу шнека, не перемещаясь в осевом направлении [2]. Циркуляция горной массы в спиральных каналах шнека и призабойном пространстве обуславливает дробление частиц руды, что сопровождается увеличением количества мелких необогатимых классов руды $-0,25$ мм (размер частиц менее $0,25$ мм) в продуктах отбойки. Классы руды $-0,25$ мм практически полностью попадают в отвалы. Высокое содержание пылевидных частиц делает необходимым применение усложненных схем переработки сырья для получения обеспыленного хлорида калия, что повышает издержки горнодобывающего предприятия [3–5].

Актуальной научно-практической задачей является снижение степени циркуляции руды при перемещении и отгрузке из призабойного пространства шнеками проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р». Снижение степени измельчения руды позволит уменьшить издержки горнодобывающих предприятий и минимизировать количество отходов обогащательных фабрик.

Методика определения рациональных параметров работы шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р»

Перемещение горной массы шнеками комбайна «Урал-20Р» является сложным многофакторным процессом, который характеризуется существенной изменчивостью значений параметров, влияющих на его эффективность. Снижение измельчения калийной руды при погрузке выполняется при условии, что производительность породоразрушающих исполнительных органов комбайнов не ограничивается производительностью шнековых грузчиков. В противном случае имеет место существенное возрастание степени заполнения и циркуляции руды между лопастями шнеков [6, 7].

* ✉ maksimov.aleksey.98589575@gmail.com

ib <https://orcid.org/0000-0001-8819-4089>

** 4varjag@mail.ru

***mec@pstu.ru

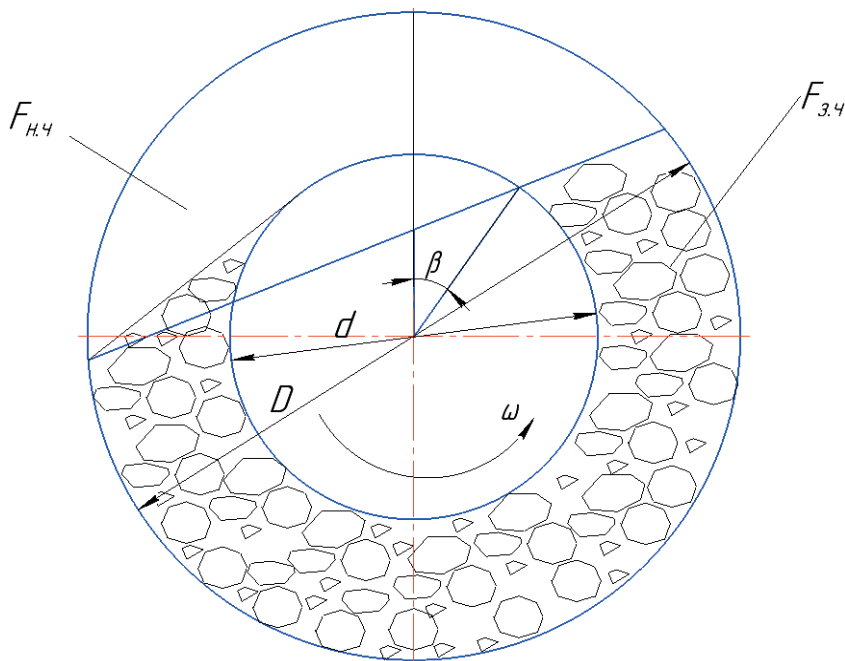


Рисунок 1. Расчетная схема поперечного сечения шнека, принятая для определения рационального коэффициента заполнения $K_{з, \text{рац}}$
 Figure 1. The design diagram of the cross-section screw for determination the rational coefficient of fullness $K_{z, \text{rat}}$

Производительность шнекового погружного органа определяется выражением [8, 9]:

$$Q_{\text{шн}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{шн}}^2 - d_{\text{шн}}^2) \gamma m_{\text{шн}} n_{\text{шн}} K_3 K_{\text{ц}} \left(t_{\text{шн}} - \frac{\delta N_3}{\cos \psi} \right), \quad (1)$$

где $Q_{\text{шн}}$ – техническая производительность шнека по погрузке, т/мин; $D_{\text{шн}}$ – диаметр шнека по лопасти, м; $d_{\text{шн}}$ – диаметр ступицы шнека, м; $\psi_{\text{шн}}$ – угол подъема винтовой линии шнека, град.; $t_{\text{шн}}$ – шаг лопасти шнека, м; δ – толщина лопасти шнека, м; N_3 – число заходов лопастей шнека, шт.; $m_{\text{шн}}$ – количество шнеков, шт.; $n_{\text{шн}}$ – частота вращения шнека, об/мин; γ – насыпная плотность калийной руды, т/м³; K_3 – коэффициент заполнения поперечного сечения шнека; $K_{\text{ц}}$ – коэффициент циркуляции руды в шнеке.

Определение рациональной величины коэффициента заполнения $K_{з, \text{рац}}$ шнека выполняется в соответствии с расчетной схемой поперечного сечения шнека, представленной на рис. 1. Коэффициент заполнения шнека может быть определен как доля площади заполненной части сечения шнека от полной площади поперечного сечения межлопастно-го пространства шнека и рассчитан по формуле [8, 9]:

$$K_{з, \text{рац}} = \frac{F_{з,ч}}{F_{н,ч} + F_{з,ч}}, \quad (2)$$

где $F_{з,ч}$ – площадь заполненной части сечения шнека, м²; $F_{н,ч}$ – площадь незаполненной части сечения шнека, м².

Площадь заполненной части шнека $F_{з,ч}$ определяется с учетом угла β , представленного на расчетной схеме. Угол β определяет границу, выше которой руда поступает на выположенную поверхность ступицы шнека и не перемещается в осевом направлении, а перебрасывается через ступицу.

Угол β зависит от геометрических и кинематических параметров шнекового грузчика, коэффициента трения руды о поверхности шнека и определяется следующим выражением [10]:

$$\frac{g \sin \lambda + f R_{\text{шн}} \left(\frac{n_{\text{шн}}}{60} \right)^2}{g \cos \lambda} = \frac{2\pi R_{\text{шн}}}{t_{\text{шн}}} \left(1 - f \sqrt{\text{ctg}^2 \gamma_{\text{шн}} + \left(\frac{t_{\text{шн}}}{2\pi R_{\text{шн}}} \right)^2} + 1 + f \text{ctg} \gamma_{\text{шн}} \right) \sin \beta - f \cos \beta, \quad (3)$$

где β – предельный угол вовлечения ступицей шнека калийной руды в тангенциальное движение, град.; g – ускорение свободного падения, м/с²; λ – угол наклона оси шнека к горизонтальной плоскости, град.; f – коэффициент трения калийной руды по металлу; $R_{\text{шн}}$ – радиус шнека по лопасти, м; $\gamma_{\text{шн}}$ – угол наклона образующей лопасти шнека относительно оси вращения шнека, град.

Рациональному значению коэффициента заполнения шнека $K_{з, \text{рац}}$, определяемому при решении уравнений (2) и (3), соответствует минимальное значение коэффициента циркуляции руды в спиральных каналах шнека $K_{\text{ц}}$. Возрастание коэффициента заполнения шнека выше области рациональных значений ($K_3 > K_{з, \text{рац}}$) обуславливает увеличение степени циркуляции руды в нем [11–13].

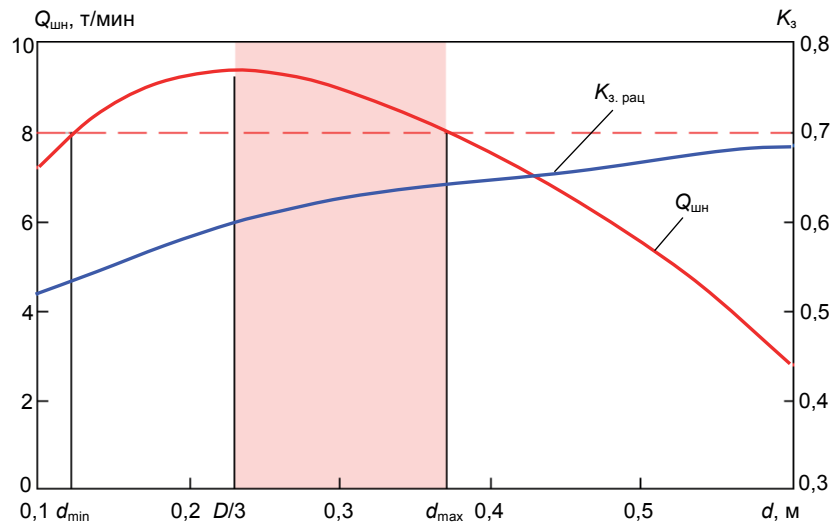


Рисунок 2. Зависимости производительности шнека $Q_{шн}$ и рационального коэффициента заполнения шнека $K_{z.рац}$ от диаметра ступицы d .
Figure 2. Dependences of the screw performance Q_{shn} and the rational coefficient of fullness of the screw $K_{z.rat}$ on hub diameter d .

Производительность шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р-11/12», определенная выражениями (1)–(3) и соответствующая минимальному значению циркуляции руды между лопастями, составляет $Q = 7,5$ т/мин. При номинальной производительности комбайна «Урал-20Р-11/12» $Q = 8$ т/мин имеет место повышение степени заполнения межлопастного пространства шнеков и циркуляция руды в спиральных каналах шнекового грузчика, что обуславливает увеличение количества пылевидных классов $-0,25$ мм в продуктах отбойки.

Из выражения (1) следует, что при постоянном значении наружных размеров шнека комбайна «Урал-20Р» (диаметр лопасти $D_{шн} = 0,68$ м) наибольшее влияние на его производительность по погрузке $Q_{шн}$ оказывает величина диаметра ступицы $d_{шн}$, рациональное значение которой необходимо определить.

Определение рациональных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р»

Определение рациональных конструктивных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р» выполнено исходя из условия обеспечения номинальной производительности проходческо-очистных комбайнов при наименьшей циркуляции и измельчении руды между лопастями шнеков.

С целью определения рациональных параметров работы шнека, соответствующих наименьшему измельчению перемещаемой руды, коэффициент циркуляции руды в шнеке принимаем минимально возможным, т. е. $K_{ц} = 1$.

Значение угла β для транспортирования калийной руды шнеками комбайна «Урал-20Р-11/12» при расчетной схеме заполнения поперечного сечения шнека (рис. 1) определено из выражения (3) и составляет $\beta = 35^\circ$. При $\beta < 35^\circ$ руда перебрасывается через ступицу шнека, что обуславливает повышение интенсивности циркуляции и измельчения перемещаемых частиц руды.

Авторами данной работы расчетным путем получены значения рациональной величины коэффициента заполнения $K_{z.рац}$ при принятой расчетной схеме и определенном угле β ($D_{шн} = \text{const}$) в диапазоне значений диаметра ступицы шнека $d_{шн} \in [0,1 \text{ м}; 0,6 \text{ м}]$. Методом полиномиальной аппроксимации получена зависимость изменения рациональной величины коэффициента заполнения $K_{z.рац}$ от диаметра ступицы $d_{шн}$ шнека:

$$K_{z.рац} = -31,5 d_{шн}^5 + 56,11 d_{шн}^4 - 36,13 d_{шн}^3 + 9,57 d_{шн}^2 - 0,46 d_{шн} + 0,5. \tag{4}$$

Подставив коэффициент заполнения $K_{z.рац}$, определяемый зависимостью (4), в выражение (1), получаем зависимость производительности шнекового органа $Q_{шн}$ от диаметра ступицы шнека $d_{шн}$, представленную на рис. 2.

Исходя из условия, что производительность шнека не должна ограничивать производительность комбайна, для определения рациональных значений диаметра ступицы принимаем $Q_{шн} \geq 8$ т/мин. Таким образом, необходимо, чтобы величина диаметра ступицы принадлежала диапазону значений $d \in [d_{min}; d_{max}]$ (рис. 2).

При величине $d = D/3$ наблюдается экстремум функции $Q_{шн} = f(d)$, соответствующий наибольшему значению производительности шнека $Q_{шн} = 9,41$ т/мин.

Уменьшение диаметра ступицы шнека менее $d < D/3$ влечет снижение производительности шнека $Q_{шн}$, соответствующей рациональным заполнениям коэффициента заполнения шнека $K_{z.рац}$. В диапазоне значений диаметра ступицы шнека $d \in [d_{min}; D/3]$ не обеспечиваются заданные прочностные характеристики шнеков комбайна «Урал-20Р-11/12».

Рациональная величина диаметра ступицы шнека d , обеспечивающая наименьшее переизмельчение руды при транспортировании, для проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р-11/12» находится в диапазоне значений $d \in [D/3; d_{max}]$, что соответствует величинам $0,23-0,37$ м (диаметр ступицы шнека серийного комбайна «Урал-20Р-11/12» $d = 0,4$ м).

Работа шнеков комбайнов «Урал-20Р» характеризуется отсутствием замкнутых пространств в окружающем направлении. Зазоры между лопастями шнеков, забоем и щитом ограждения значительны, что является причиной циркуляции и утечек руды из зоны действия погрузочных лопастей, формирования слоя просыпи на почве выработки [14, 15].

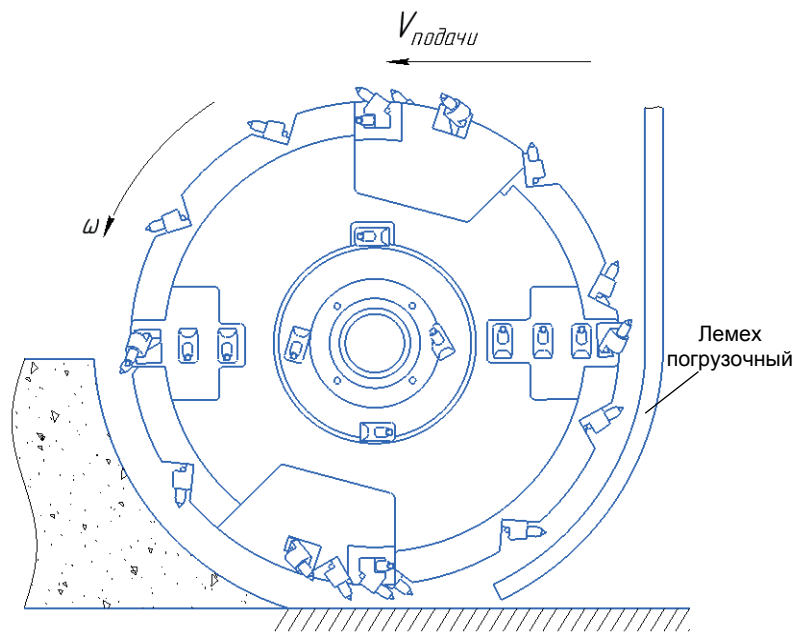


Рисунок 3. Вариант установки погрузочного лемеха.
Figure 3. Version to install the loading share.

С целью устранения указанного недостатка предлагается замена щита, устанавливаемого за шнековым погрузочным органом комбайна, на погрузочный лемех закругленной формы (рис. 3), что позволит уменьшить объем руды, перемещаемой за пределами контура лопастей шнека.

Одним из способов уменьшения интенсивности измельчения калийной руды при работе комбайнов «Урал-20Р» является изменение расположения резцедержателей на шнеках. Рациональным является размещение кулачков с резами на нерабочей стороне лопасти шнека таким образом, чтобы они не выступали за пределы диаметра лопасти. Следует учесть, что при таком расположении резцедержателей необходимо использовать резы с повышенным радиальным вылетом.

Заключение

Погрузочное оборудование проходческо-очистных комбайнов необходимо проектировать таким образом, чтобы техническая производительность грузчиков превышала общую производительность породоразрушающих исполнительных органов выемочных машин. Конструктивные параметры погрузочных органов следует рассчитывать из условия обеспечения минимальной циркуляции руды в призабойном пространстве.

Шнеки серийного комбайна «Урал-20Р-11/12» характеризуются высоким коэффициентом заполнения при работе комбайна с номинальной производительностью 8 т/мин, что обуславливает циркуляцию и переизмельчение руды при погрузке. Снижение измельчения руды может быть обеспечено путем уменьшения диаметра ступицы шнека с 0,4 м до 0,35–0,37 м. Расчетным путем доказано, что максимальная производительность шнека по погрузочной способности 9,41 т/мин при заданном диаметре лопасти 0,68 м обеспечивается при диаметре ступицы 0,23 м.

Повышение эффективности погрузки и уменьшение переизмельчения калийной руды шнеками комбайнов «Урал-20Р» может быть обеспечено посредством установки резцедержателей на нерабочей стороне лопасти шнека таким образом, чтобы они не выступали за пределы диаметра лопасти.

Замена щита, устанавливаемого за шнековым погрузочным органом комбайна «Урал», на погрузочный лемех закругленной формы, позволит уменьшить объем руды, перемещаемой за пределами контура лопастей шнека, снизить циркуляцию и измельчение руды при погрузке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков Л. И., Земсков А. Н., Кондрашев П. И. Развитие механизированной разработки калийных руд. Пермь: ПГТУ, 2007. 522 с.
2. Докукин А. В., Фролов А. Г., Позин Е. З. Выбор параметров выемочных машин. Научно-методические основы. М.: Наука, 1976. 144 с.
3. Харламова Н. А. Исследование механизма разрушения соляных горных пород резовым инструментом: дис. ... канд. техн. наук. Пермь: ПГТУ, 1998. 173 с.
4. Титков С. Н., Мамедов А. И., Соловьев Е. И. Обогащение калийных руд. М.: Недра, 1982. 216 с.
5. Тетерина Н. Н., Сабиров Р. Х., Сквирский Л. Я., Кириченко Л. Н. Технология флотационного обогащения калийных руд / под ред. Н. Н. Тетериной. Пермь: Соликамская типография, 2002. 484 с.
6. Сидякин Д. А. Обоснование параметров и конструкции шнекового грузчика проходческо-очистного комбайна // Записки Горного института. 2009. Т. 181. С. 138–140.
7. Li X., Wang S., Ge S., Malekian R., Li Z., Li Y. A study on drum cutting properties with full-scale experiments and numerical simulations // Measurement. 2018. Vol. 114. P. 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.006>
8. Солод В. И., Гетопанов В. Н., Рачек В. М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. М.: Недра, 1982. 350 с.
9. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of «URAL-20R» heading-and-winning machine // Earth and Environmental Science: IOP Conference Series. 2017. Vol. 87. 022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022025>
10. Вернер В. Н. Исследование и обоснование рациональных параметров шнековых погрузочно-транспортирующих органов выемочных машин: дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1999. 318 с.

11. Миничев В. И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет. М.: Машиностроение, 1976. 248 с.
12. Габов В. В., Нгуен К. Л., Нгуен В. С., Ле Т. Б., Задков Д. А. Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер // Уголь. 2018. С. 32–35. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-2-32-35>
13. 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 // Materials science and engineering: IOP conference series. 2018. Vol. 327. 042132. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042132>
14. Ayhan M., Eyyuboglu E. M. Comparison of globoid and cylindrical shearer drums' loading performance // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2006. Vol. 106, № 1. P. 51–56.
15. Gao K., Du C., Liu S., Fu L. Model test of helical angle effect on coal loading performance of shear drum // International Journal of Mining Science and Technology. 2012. Vol. 22, issue 2. P. 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2011.08.005>

Статья поступила в редакцию 21 января 2019 г.

Determination of the rational parameters of screw loaders of the Ural-20R heading-and-winning machines

Aleksey Borisovich MAKSIMOV*,
Dmitriy Igorevich SHISHLYANNIKOV**,
Nikolay Vasil'evich CHEKMASOV***

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Introduction. The urgent task for enterprises engaged in the extraction of potash salts using the Ural-20R heading-and-winning machines is to reduce the amount of pulverized rough classes in potash ore. The solution to this problem is possible through the improvement of the design of screw loading bodies of combines.

The method for determining the rational parameters of the screw loader of the Ural-20R combine. The analysis of factors affecting the intensity of the process of grinding potash ore when loading with an auger worm. The main criteria for the selection of rational parameters of screw loaders of heading-and-winning machines are indicated. Mathematical dependences are given; the computational scheme has been developed for determining the rational value of the coefficient of fullness of the screw cross section, which ensures minimum ore circulation in the spiral canals of the screw. It is proved that the work of screw loaders with nominal productivity of combines "Ural-20R-11/12" is accompanied by a high degree of filling of the interlobe space and ore circulation, which causes an increase in the number of dust-like rough classes in the breakage products.

Determination of rational parameters of screws of the Ural-20R combines. Determination of the rational design parameters of the screws of the Ural-20R combines is made on the basis of the condition of ensuring the nominal capacity of the excavation machines with the least ore circulation in the spiral canals of the screw loaders. The dependence of the change in the coefficient of fullness and the productivity of the auger worm on loading is established and analyzed. The rational size of the hub diameter of the screw loader of the Ural-20R-11/12 combined machine was determined by calculation, which ensures minimum circulation and over-grinding of the ore in the spiral canals of the screw. Some technical solutions to improve the design of the screws are offered.

Conclusion. It is concluded that the design parameters of screw loaders should be calculated from the condition of ensuring minimum ore circulation in the face space and spiral canals of the screws. The reduction of ore grinding can be achieved by reducing the screw hub diameter from 0.4 m to 0.35–0.37 m.

Keywords: heading-and-winning machine, rational parameters of augers of excavation machines, ore circulation in the face space, granulometric size composition of potash ore, dust formation during the work of a heading-and-winning machine.

REFERENCES

1. Starkov L. I., Zemskov A. N., Kondrashev P. I. 2007, *Razvitiye mekhanizirovannoy razrabotki kaliynykh rud* [Development of artificial extraction of potash ores]. Perm, 522 p.
2. Dokukin A. V., Frolov A. G., Pozin E. Z. 1976, *Vybor parametrov vyyemochnykh mashin. Nauchno-metodicheskiye osnovy* [The choice of parameters of extracting machines. Research and methodological foundations]. Moscow, 144 p.
3. Kharlamova N. A. 1998, *Issledovaniye mekhanizma razrusheniya solyanykh gornykh porod reztsovyim instrumentom* [The study of the fracture behavior of salt rocks with a cutting tool], PhD thesis. Perm, 173 p.
4. Titkov S. N., Mamedov A. I., Solov'ev E. I. 1982, *Obogashcheniye kaliynykh rud* [Potash ore enrichment], 216 p.
5. Teterina N. N., Sabirov R. Kh., Skvirsky L. Ya., Kirichenko L. N. 2002, *Tekhnologiya flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud* [Potash ore flotation technology]. Perm, 484 p.
6. Sidiyakin D. A. 2009, Substantiation of the parameters and design of the screw loader of heading-and-winning machines. *Zapiski Gornogo Instituta* [Journal of Mining Institute], vol. 181, pp. 138–140. (In Russ.)
7. Li X., Wang S., Ge S., Malekian R., Li Z., Li Y. 2018, A study on drum cutting properties with full-scale experiments and numerical simulations. *Measurement*, vol. 114, pp. 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.006>
8. Solod V. I., Getopanov V. N., Rachek V. M. 1982, *Proyektirovaniye i konstruirovaniye gornykh mashin i kompleksov* [Design and construction of mining machines and units]. Moscow, 350 p.
9. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. 2017, Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of "URAL-20R" heading-and-winning machine. *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*. 2017, vol. 87. 022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022025>
10. Verner V. N. 1999, *Issledovaniye i obosnovaniye ratsional'nykh parametrov shnekovykh pogruzochno-transportiruyushchikh organov vuyemochnykh mashin* [Research and substantiation of rational parameters of screw loading and transporting bodies of extracting machines], PhD thesis, 318 p.
11. Minichev V. I. 1976, *Ugledobyvayushchiye kombayny. Konstruirovaniye i raschet* [Coal-mining combines. Design and calculation]. Moscow, 248 p.
12. Gabov V. V., Nguyen K. L., Nguyen V. S., Le T. B., Zadkov D. A. 2018, Justification of the geometric and regime parameters of screw actuating devices ensuring the efficiency of coal loading for the face conveyor. *Ugol'* [Coal], pp. 32–35 (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-2-32-35>
13. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. 2018, Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines. *Materials science and engineering: IOP conference series*, vol. 327. 042132. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042132>
14. Ayhan M., Eyyuboglu E. M. 2006, Comparison of globoid and cylindrical shearer drums' loading performance. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 106, no. 1, pp. 51–56.
15. Gao K., Du C., Liu S., Fu L. 2012, Model test of helical angle effect on coal loading performance of shear drum. *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 22, issue 2, pp. 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2011.08.005>

The article was received on January 21, 2019

* ✉ maksimov.aleksey.98589575@gmail.com

id <https://orcid.org/0000-0001-8819-4089>

** 4varjag@mail.ru

*** mec@pstu.ru