

УДК 622.232.72

**Максимов Алексей Борисович**, инженер, аспирант, **Шишлянников Дмитрий Игоревич**, канд. техн. наук, доцент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия, Пермь, проспект Комсомольский, 29

E-mail: maksimov.aleksey.98589575@gmail.com

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА КАЛИЙНОЙ РУДЫ, ДОБЫВАЕМОЙ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫМИ КОМБАЙНАМИ «УРАЛ-20Р»**

---

**Аннотация:** Процессы резания и перемещения калийной руды при работе проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» сопровождаются ее измельчением, что приводит к повышению количества необогатимых пылевидных классов (размер частиц менее 0,25 мм) в продуктах отбойки. Наличие частиц указанного класса крупности оказывает влияние на степень извлечения полезного компонента при обогащении, что определяет снижение прибыли горнодобывающего предприятия. Повышение качества гранулометрического состава руды путем увеличения в ней массовой доли обогатимых классов является актуальной научно-практической задачей, решение которой возможно посредством обоснования рациональных параметров породоразрушающих исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р», а также разработки и внедрения исполнительных органов, реализующих перспективные схемы резания.

Выполнен анализ источников формирования пылевидных классов при работе комбайнов «Урал-20Р». Определены области рациональных (по минимальному выходу пылевидных классов) значений параметров разрушения калийного массива при использовании шахматной и последовательной схем резания. Проведен анализ соответствия параметров работы планетарно-дисковых исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р» различным модификаций рациональным параметрам резания.

Приведены технические предложения по совершенствованию исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р» путем использования перекрестной схемы разрушения калийного массива. Доказано, что предлагаемые технические решения позволят уменьшить количество пылевидных классов в продуктах отбойки и снизить удельные энергозатраты процесса добычи калийной руды.

**Ключевые слова:** проходческо-очистной комбайн, разрушение калийного массива, гранулометрический состав руды, пылеобразование при работе проходческо-очистного комбайна, перекрестное резание.

**Информация о статье:** принята 05 августа 2018 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-4-4-11

### **Введение (Introduction)**

Добыча калийной руды подземным способом на отечественных предприятиях осуществляется при широком применении проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» производства АО «Копейский машиностроительный завод», оснащенных комбинированными исполнительными органами бурового типа и гусеничным ходовым оборудованием [1].

Исполнительные органы комбайнов «Урал» осуществляют разрушение калийного массива резанием и погрузку отбитой горной массы в средства участкового транспорта [2, 3]. Процессы резания и перемещения руды сопровождаются ее измельчением, что приводит к повышению количества необогатимых пылевидных классов (размер частиц менее 0,25 мм – класс «–0,25 мм») в продуктах отбойки. Классы руды «–0,25 мм» практически полностью попадают в отвалы, поскольку высокое содержание

пылевидных частиц делает необходимым применение усложненных схем переработки сырья для получения обеспыленного хлорида калия, а также использование грануляции для улучшения гранулометрического состава конечного продукта, что повышает издержки горнодобывающего предприятия [4, 5]. При флотационном способе обогащения возрастание массовой доли фракции частиц «–0,25 мм» на 1 % приводит к снижению извлечения полезного компонента не менее чем на 0,1 % [6–8] и уменьшению годовой прибыли добывающей организации на несколько сотен миллионов рублей.

Повышение качества гранулометрического состава руды путем увеличения в ней массовой доли обогатимых классов является актуальной научно-практической задачей, решение которой возможно посредством обоснования рациональных параметров породоразрушающих исполнительных

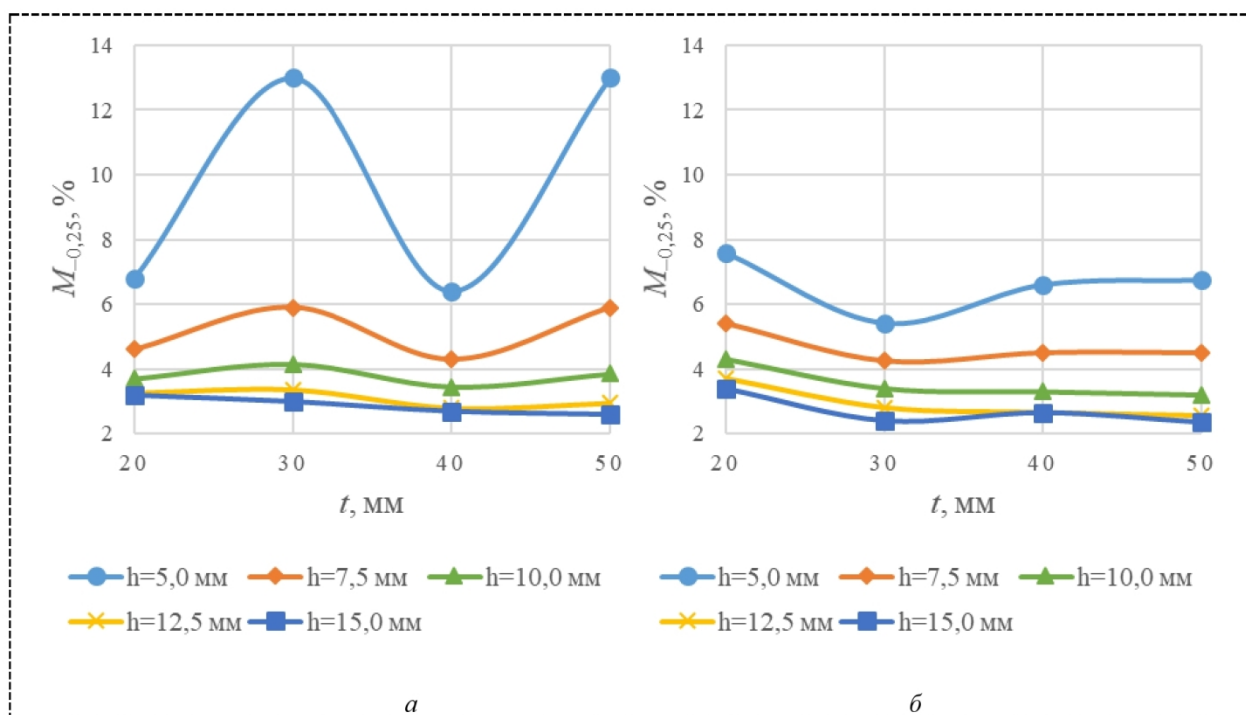


Рис. 1. Зависимость процентного содержания класса «-0,25 мм» от шага резания  $t$  при различных значениях глубины резания  $h$ : при разрушении блоков калийной руды последовательными резами (а) и шахматными резами (б) (тангенциальным неповоротным резцом РС-14)

Fig. 1. The dependence of the percentage of the class «-0,25 mm» on the cutting step  $t$  at different values of the cutting depth  $h$ : the destruction of potash ore blocks by sequential cuts (a) and chess cuts (b) (tangential non-rotating cutter RS-14)

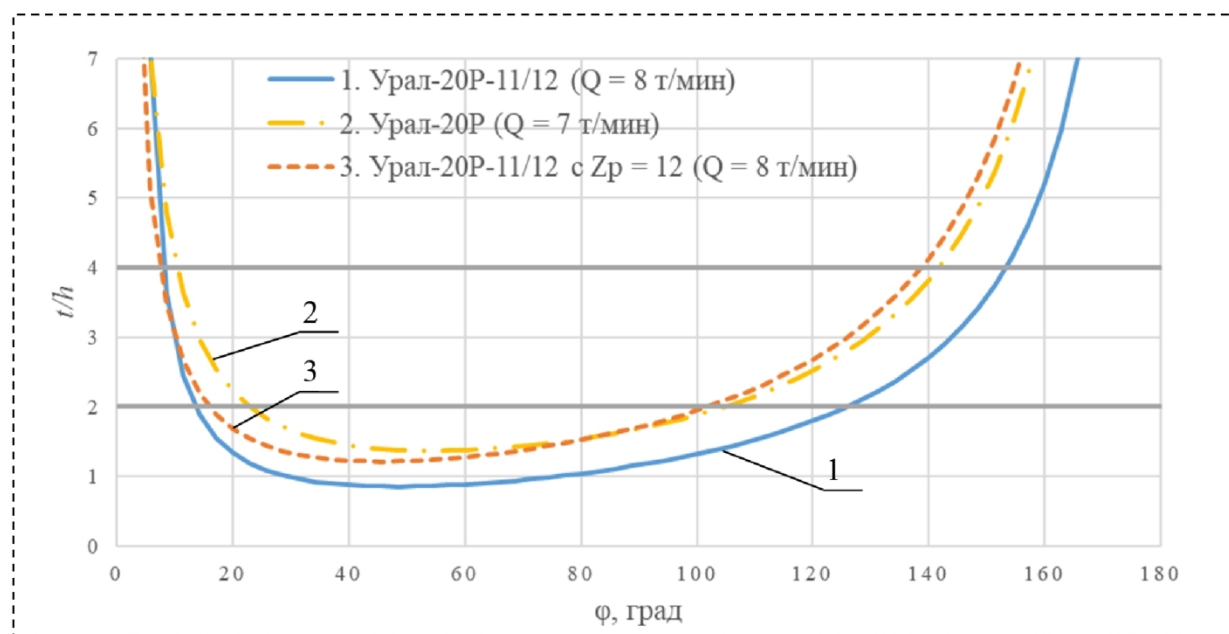


Рис. 2. Зависимости величины отношения  $t/h$  от угла поворота резцового диска  $\varphi$  ( $0^\circ$  – вход резца в контакт с массивом в центральной части забоя;  $180^\circ$  – выход из контакта с массивом на периферии забоя) планетарно-дискового исполнительного органа комбайнов «Урал-20Р» различных модификаций при различных значениях производительности

Fig. 2. Dependence of the ratio  $t/h$  on the angle of rotation of the cutter disc  $\varphi$  of the planetary disc executive body of the combine «Ural-20R» of various modifications with different values of performance

органов и погрузочного оборудования комбайнов «Урал-20Р», а также разработки и внедрения устройств, реализующих перспективные схемы резания.

#### Источники формирования пылевидных классов при работе комбайнов «Урал-20Р» (Sources of formation of dust-like classes at work of «Ural-20R» combines)

На гранулометрический состав калийной руды и энергетические показатели отбойки при разрушении массива резанием определяющее влияние оказывает глубина резов  $h$ , рациональное значение которой для шахматной и последовательной схем резания составляет 12–15 мм. В соответствии с результатами экспериментальных исследований [4, 9, 10] использование традиционных схем разрушения калийного массива (шахматной и последовательной) при  $h \leq 5$  мм обуславливает повышенный выход пылевидных классов руды «–0,25 мм» (рис. 1). Каждой глубине резов  $h$  в диапазоне значений от 5 до 15 мм соответствует рациональный шаг резания  $t$ , определяемый отношением  $t/h = 2-4$  [5, 11].

Основным отличием комбайнов «Урал-20Р» от аналогичных машин зарубежного производства является использование в их конструкции пространственных планетарно-дисковых исполнительных органов [2], которые разрушают горный массив последовательными расходящимися радиально-тангенциальными резами переменной глубины  $h$ . Серповидное сечение стружки и переменный шаг резания  $t$  затрудняют оптимизацию процесса разрушения калийного массива резами пространственных планетарно-дисковых исполнительных органов.

Кинематика движения резцов планетарно-дисковых исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р» определяет разрушение центральной и периферийной частей забоя (зон входа и выхода резцов из контакта с массивом) резами глубиной  $h \leq 5$  мм.

Работа комбайнов «Урал-20Р» наиболее современных модификаций («Урал-20Р-11/12») при номинальной производительности  $Q = 8$  т/мин характеризуется разрушением большей части площади забоя при отношении  $t/h < 2$  (рис. 2, график 1; таблица).

Резы дисков предыдущих модификаций комбайнов «Урал-20Р» при номинальной производительности ( $Q = 7$  т/мин) выемочной машины характеризуются значениями  $t/h$  более близкими к рациональным (см. рис. 2, график 2; таблица).

Резцы отбойного и бермового устройств комбайна «Урал-20Р» разрушают калийный массив резами малой глубины  $h < 5$  мм при значениях  $t/h = 10-12$ . Удельный расход энергии при разрушении калийного массива резами отбойного устройства и бермовыми фрезами в 2–2,5 раза больше, чем при работе планетарно-дисковых исполнительных органов [4, 12, 13].

Вышеописанные недостатки определяют значительное содержание фракции «–0,25 мм» в руде, выходящей с конвейера комбайнов «Урал-20Р» – до 10 % [11].

Таблица. Влияние конструкции и режима работы комбайна «Урал-20Р» на параметры обработки забоя породоразрушающим инструментом

Table. Influence of the design and operation mode of the «Ural-20R» combine on the parameters of the face processing with the rock-destroying tool

Модификация комбайна, производительность	Доля площади забоя, %, обрабатываемой резами планетарно-дискового исполнительного органа комбайна при параметрах резов:		
	$t/h < 2$	$t/h > 4$	$t/h = 2-4$
1. «Урал-20Р-11/12», $Q = 8$ т/мин	65,9	10,7	23,4
2. «Урал-20Р», $Q = 7$ т/мин	47,5	16,4	36,1
3. «Урал-20Р-11/12», $Q = 8$ т/мин, с измененными параметрами	42,4	19,8	37,8

Транспортирование отбитой руды от добычных комбайновых комплексов, как правило, включает следующие этапы [1]:

- перегрузка через рудоспуск на ленточный панельный конвейер;
- перегрузка через панельный бункер на магистральный конвейер;
- перегрузка в общешахтный бункер;
- загрузка в скипы для подъема на поверхность рудника;
- разгрузка скипов в надшахтные бункеры;
- разгрузка бункеров на ленточные конвейеры;
- загрузка руды в дробилки на участках размола.

В результате перегрузок руды происходит ее измельчение, доля класса «–0,25 мм» в общей массе руды при поступлении на участок размола составляет не менее 13 %. Поток руды, попадающий на обогательную фабрику после размола, содержит 17–18 % необогатимого класса.

Рациональным представляется формирование заданного гранулометрического состава руды путем создания последовательных элементарных сколов устойчивой формы, что обусловит снижение измельчаемости горной массы при перегрузках и в дробильном оборудовании участков размола.

#### Предложения по совершенствованию конструкции исполнительных органов и рабочего оборудования комбайнов «Урал-20Р» (Proposals on improving the design of executive bodies and working equipment of «Ural-20R» combines)

Улучшение гранулометрического состава руды при разрушении калийного массива резами планетарно-дисковых исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р-11» и «Урал-20Р-12» возможно путем изменения величин шага  $t$  и глубины  $h$  резания. Наиболее простым способом, требующим минимальных конструктивных изменений, представляется уменьшение количества резцов  $Z_p$  на поворотных дисках с 17 до 12 штук. В таком случае

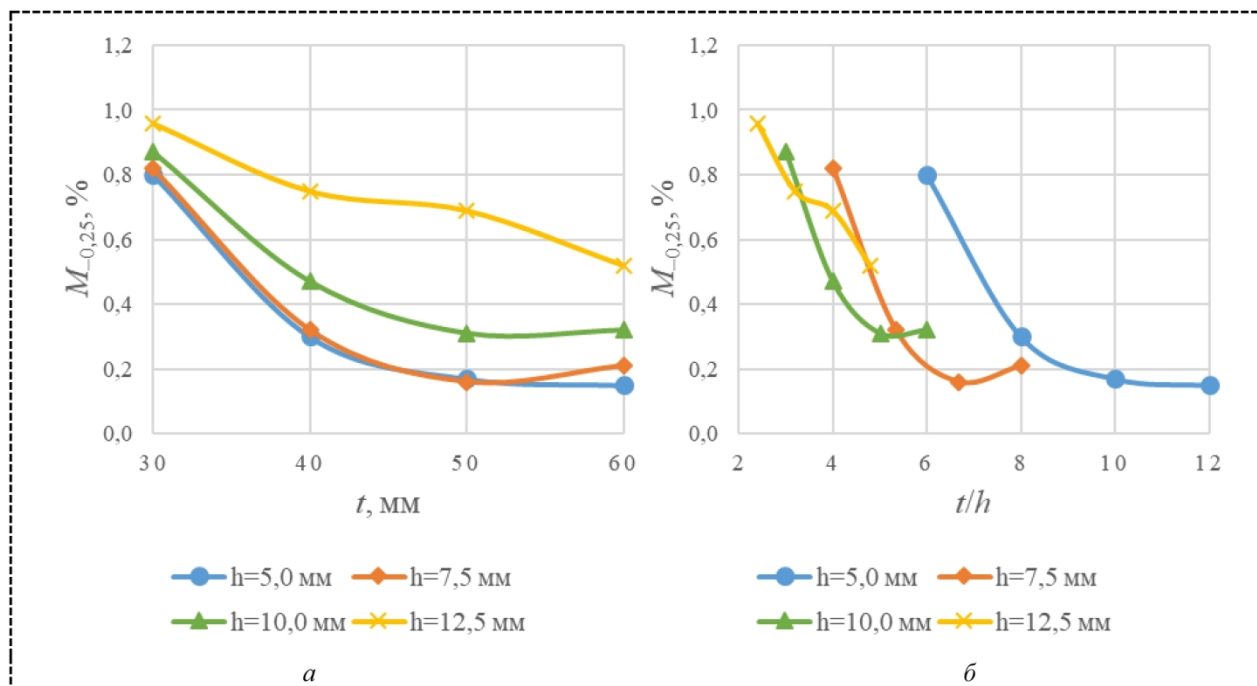


Рис. 3. Зависимости процентного содержания класса «-0,25 мм»: от шага резания  $t$  (а), от отношения шага к глубине резания  $t/h$  (б) при различных значениях глубины резания при разрушении блоков калийной руды перекрестными резами (тангенциальным неповоротным резцом РС-14)

Fig. 3. The dependence of the percentage of the class «-0,25 mm»: on the cutting step  $t$  (a), on the ratio  $t/h$  (b) at different values of the cutting depth  $h$  when the destruction of potash ore blocks by crossed cuts (tangential non-rotating cutter RS-14)

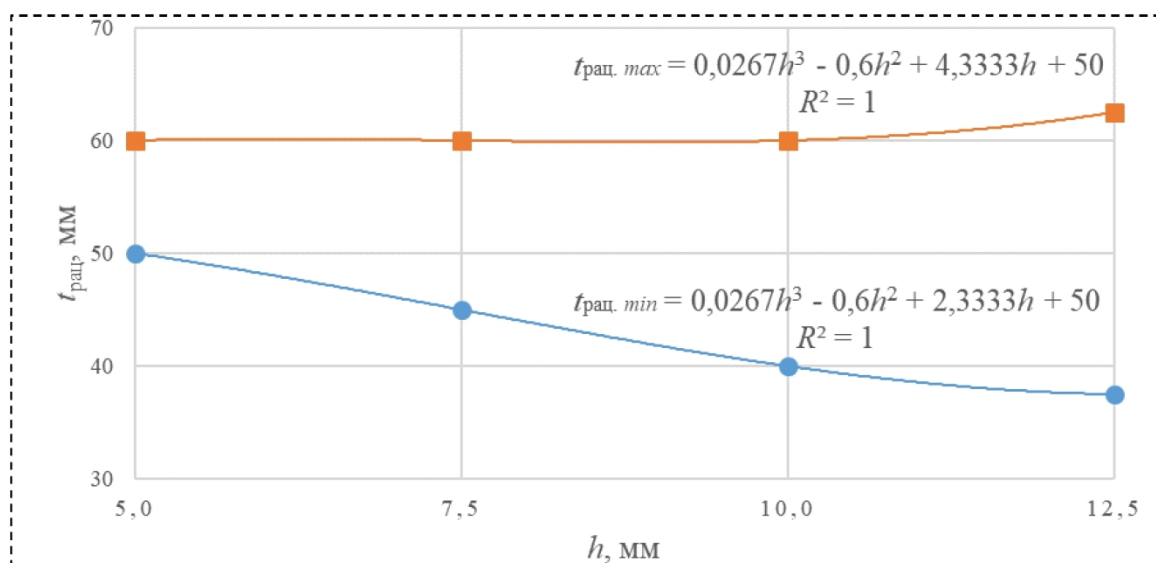


Рис. 4. Зависимости минимальной и максимальной величины рационального шага резания  $t_{рац}$  от глубины резов  $h$  при разрушении блоков калийной руды перекрестными резами (неповоротным резцом РС-14)

Fig. 4. Dependences of the minimum and maximum values of the rational cutting step  $t$  on the depth of cuts  $h$  when the blocks of potassium ore are destroyed by cross cuts (non-rotating cutter RS-14)

отношение шага к глубине резания  $t/h$  примет значения, более близкие к области рациональных величин (см. рис. 2, график 3; таблица).

Одним из преимуществ использования планетарно-дисковых исполнительных органов является возможность создания на поверхности забоя сетки пересекающихся резов.

Известно, что использование при отработке массива наведенных трещин и областей концентрации

напряжений при пересечении резов, позволяет снизить силовые и энергетические показатели отделения руды от массива на 20–25% и на порядок уменьшить выход пылевидных классов продуктов отбойки (рис. 3) в результате создания в срезе последовательных элементарных сколов заданной формы [14].



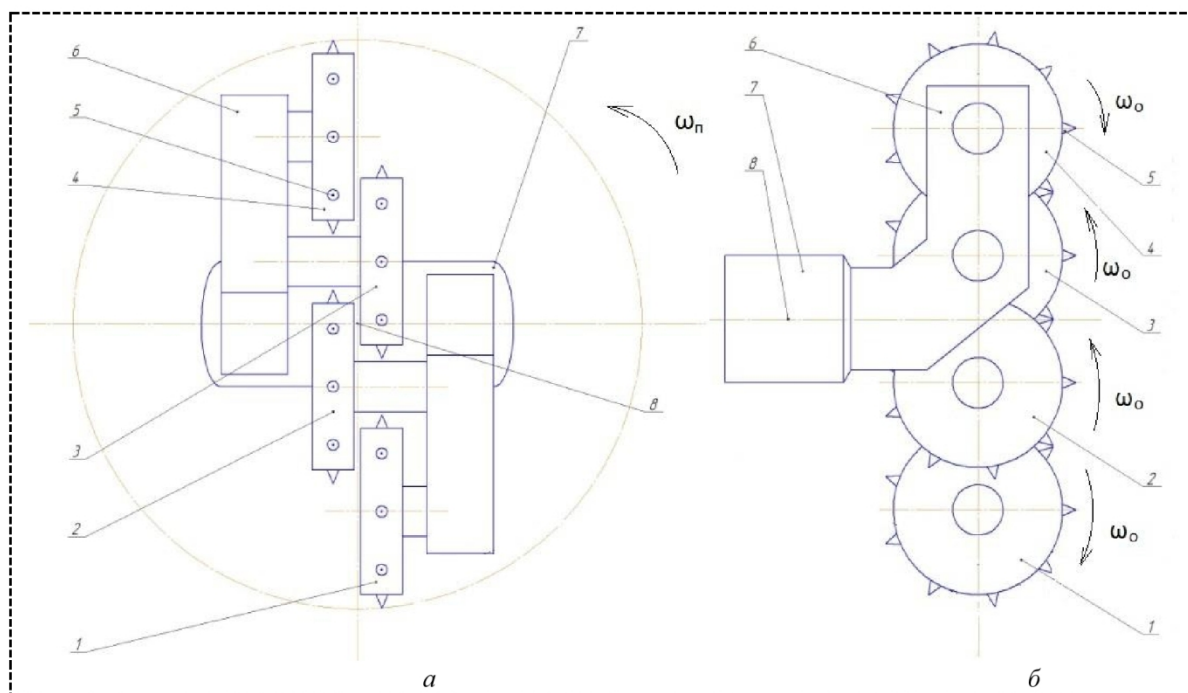


Рис. 5. Схема исполнительного органа: а – вид спереди; б – вид сбоку  
Fig. 5. Scheme of the executive body: а – front view; б – side view

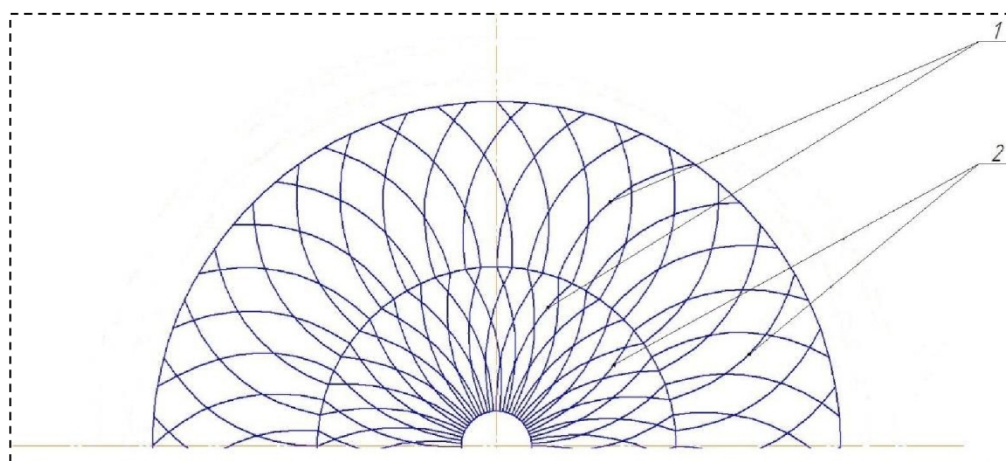


Рис. 6. Схема резов исполнительного органа с четырьмя поворотными дисками  
Fig. 6. The scheme of the cuts of the executive body with four rotatable discs

В случае использования перекрестной схемы резания содержание пылевидной фракции « $-0,25$  мм» в отбитой руде снижается по мере уменьшения глубины резов  $h$ , достигая наименьших значений при  $h = 5-10$  мм.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 3, показывает, что при использовании перекрестной схемы резания наиболее рациональными значениями отношения  $t/h$  (по критерию минимального выхода руды класса « $-0,25$  мм») для глубины резания  $h = 5,0, 7,5, 10,0$  и  $12,5$  мм являются, соответственно, диапазоны значений  $t/h = 10-12, 6-8, 4-6$  и  $3-5$ . Значения диапазонов рациональных шагов резания  $t_{\text{рац}}$  при соответствующих глубинах резания  $h$ , представлены на рис. 4. Методом полиномиальной аппроксимации получены и представлены уравнения, описывающие поведение функций  $t_{\text{рац, min}}$

и  $t_{\text{рац, max}}$  от глубины резания  $h$  в диапазоне ее значений от  $5,0$  до  $12,5$  мм.

Решение задачи повышения эффективности процесса отбойки калийной руды перекрестным резанием возможно при использовании конструкции планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистных комбайнов, представленной на рис. 5 [15].

Исполнительный орган включает четыре поворотных диска 1-4, разрушающих забой перекрестными резами посредством установленных на них резов 5. Диски 1 и 3 разрушают забой радиально-тангенциальными резами, направленными от центра к периферии забоя. Диски 2 и 4 вращаются относительно своих осей в противоположном направлении, обрабатывая забой тангенциально-радиальными резами, направленными от периферии к центру забоя.

Диски 1–4 монтируются на валах поворотных редукторов 6. Вращающий момент на них передается от раздаточного редуктора 7. Переносное вращение дисков осуществляется вокруг оси 8 раздаточного редуктора 7.

Резцовые диски имеют попарно разнонаправленное относительное вращение. В результате этого на забое образуется сетка пересекающихся резов (рис. 6) 1 и 2, имеющих тангенциально-радиальное (от периферии забоя к центру) и радиально-тангенциальное направление (от центра к периферии забоя). Осуществление перекрестной схемы резания посредством предложенного исполнительного органа позволяет увеличить площадь забоя, обрабатываемую резами с наиболее рациональными для перекрестной схемы параметрами шага  $t$  и глубины  $h$  резания, что обеспечит значительное уменьшение удельных энергозатрат и количества мелких классов в отбитой калийной руде.

Повышение эффективности процесса разрушения массива вспомогательными органами (отбойным и бермовым устройством) может быть обеспечено посредством перехода с последовательной схемы резания на шахматную. В соответствии с результатами экспериментальных исследований [4], переход от последовательной к шахматной схеме разрушения калийного массива при глубине резания 5 мм обуславливает снижение удельных энергозатрат с 6 до 3,2 кВт·ч/м<sup>3</sup>, сокращение выхода классов «–0,25 мм» с 6,5 до 5 %.

Совершенствование исполнительных органов комбайнов, предусматривающее использование перекрестной схемы разрушения забоя в сочетании с использованием модернизированных вспомогательных исполнительных органов, повысит качество гранулометрического состава добываемой руды эффективность работы проходческо-очистных комбайнов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старков, Л. И. Развитие механизированной разработки калийных руд / Л. И. Старков, А. Н. Земсков, П. И. Кондрашев – Пермь: ПГТУ, 2007. – 522 с.
2. Семенов, В. В. Проходческо-очистные комбайны «Урал» для добычи калийной руды и каменной соли / В. В. Семенов, М. А. Мальчер, В. П. Петров, С. П. Морозов // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 8. – С. 17–21.
3. Семенов, В. В. Обоснование и выбор параметров исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов нового поколения для добычи

калийных руд. Дис. канд. техн. наук, спец. 05.05.06. – Тула: ТулГУ, 2011. – 219 с.

4. Харламова, Н. А. Исследование механизма разрушения соляных горных пород резцовым инструментом / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Пермь: ПГТУ, 1998. – 173 с.

5. Шишлянников, Д. И. Повышение эффективности отделения калийной руды от массива резами добычных комбайнов: авторефер. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Шишлянников Дмитрий Игоревич. – СПб., 2012. – 21 с.

6. Титков, С. Н. Обогащение калийных руд / Титков С. Н., Мамедов А. И., Соловьев Е. И. – М., Недра, 1982. – 216 с.

7. 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.

8. Laskowski, J. S. From amine molecules adsorption to amine precipitate transport by bubbles: a potash ore flotation mechanism // Minerals Engineering, 2013. – V. 45. – P. 170–179

9. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling / Yaneng Zhou, Wu Zhang, Isaac Gamwo, Jeen-Shang Lin – International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2017. – V. 100. – P. 287–297

10. Cutting forces during turning with variable depth of cut / M. Sadílek, J. Dubský, Z. Sadílková, Z. Poruba – Perspectives in Science, 2016. – V. 7. – P. 357–363

11. Трифанов, М. Г. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации: авторефер. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Трифанов Михаил Геннадьевич. – СПб., 2018. – 20 с.

12. Совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов типа «Урал» / В. В. Бувеч, Н. В. Чекмасов, Д. И. Шишлянников, В. В. Габов // Горный журнал. 2016. № 4. – С. 52–56.

13. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами – М.: Недра, 1984. – 288 с.

14. Старков Л. И., Харламова Н. А. Исследование схемы перекрестного резания // Горный журнал. Изв. ВУЗов, №7-8, 1997. – С. 121-123.

15. Способ разрушения горного массива перекрестными резами: пат. 2630839 Рос. Федерация / Старков Л. И., Шишлянников Д. И., Чекмасов Н. В., Максимов А. Б., Лоскутов Л. А. № 2016120144; заявл. 24.05.2016; опубл. 13.09.2017. Бюл. №26. – 9 с.

**Aleksey B. Maksimov**, engineer, postgraduate student, **Dmitry I. Shishlyannikov**, Ph. D., Associate Professor

Perm national research Polytechnic University, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky Avenue, 29

## IMPROVING THE QUALITY OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE POT-ASH ORE MINED BY HEADING-AND-WINNING MACHINES «URAL-20R»

**Abstract:** The processes of cutting and moving potassium ore during the operation of the «Ural-20R» tunneling combines are accompanied by the crushing. This leads to an increase in the number of unenriched pulverulent classes (particle size less than 0,25 mm) in breakage products. The presence of particles of this size class has an effect on the degree of recovery of the useful component during enrichment. This determines the decline in profits of the mining enterprise. Improving the quality of the granulometric composition of ore by increasing the mass part of enrichment classes in it is an actual scientific and practical task, the solution of which is possible by justifying the rational parameters of the rock-destroying executive bodies and the loading equipment of the «Ural-20R» combines as well as the development and implementation of executive bodies that implement perspective cutting schemes.

The analysis of sources of formation of dust-like classes at work of the «Ural-20R» combines has been executed. Defined the field of rational (minimum output of pulverized classes) parameters values of destruction of potash array when using chess and sequential cutting schemes. The analysis of correspondence of parameters of work of planetary-disk Executive bodies of combines «Ural-20R» of various modifications to rational parameters of cutting was carried out.

The technical proposals for the improvement of the executive bodies of the combines «Ural-20R» by using cross schema of the destruction of the potash array were presented. Proved that the proposed technical solutions will to improve the quality of the ore and reduce the specific energy consumption of the process of destruction.

**Keywords:** heading-and-winning machine, destruction of the potassium array, granulometric composition of ore, dust formation during the operation of a heading-and-winning machine, cross cutting.

**Article info:** received August 05, 2018

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-4-4-11

### REFERENCES

1. Starkov, L. I. The development of mechanized extraction of potash ores / L. I. Starkov, A. N. Zemskov, P. I. Kondrashov – Perm: Perm state technical University, 2007. - 522 p.
2. Semenov, V. V. Heading-and-winning machines «Ural» for the extraction of potash ore and rock salt / V. V. Semenov, M. A. Malcher, V. P. Petrov, S. P. Morozov // Mining machinery and electromechanics. 2008. No. 8. - P. 17-21.
3. Semenov, V. V. Rationale for the choice of parameters of the executive bodies of the heading-and-winning machines of the new generation for the extraction of potash ore/ Dissertation for the degree of candidate of technical Sciences. – Tula: TulSU, 2011. - 219 p.
4. Kharlamova, N. A. Research of the mechanism of destruction of salt rocks by the tool / Dissertation for the degree of candidate of technical Sciences. – Perm: Perm state technical University, 1998. - 173 p.
5. Shishlyannikov, D. I. Improving the efficiency of separation of potassium ore from the array of mining combine cutters: abstract of dissertation for the degree of candidate of technical Sciences: 05.05.06 / Shishlyannikov Dmitry Igorevich. – SPb., 2012. - 21 p.
6. Titkov, S. N. Enrichment of potash ores / Titkov S. N., Mamedov, A. I., Soloviev, E. I. – Nedra, 1982. - 216 p.
7. Teterina N. N., Sabirov R. H., Skvirsky L. Ya., Kirichenko L. N. Technology of flotation enrichment of potash ores / ed. N. N. Teterina. – Perm: Solikamsk printing house, 2002. - 484 p.
8. Laskowski, J. S. From amine molecules adsorption to amine precipitate transport by bubbles: a potash ore flotation mechanism // Minerals Engineering, 2013. – V. 45. – P. 170–179
9. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling / Yaneng Zhou, Wu Zhang, Isaac Gamwo, Jeen-Shang Lin – International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2017. – V. 100. – P. 287–297
10. Cutting forces during turning with variable depth of cut / M. Sadílek, J. Dubský, Z. Sadílková, Z. Poruba – Perspectives in Science, 2016. – V. 7. – P. 357–363
11. Trifanov, M. G. Evaluation of the load drives the heading-and-winning machine «Ural-20R» to select technically sound modes in the re-promotion conditions: abstract of dissertation for the degree of candidate of technical Sciences: 05.05.06 / Trifanov Mikhail Genadievich. – SPb., 2018. – 20 p.
12. Improvement of the executive bodies of the heading-and-winning machine «Ural» / V. V. Buevich, N. V. Chekmasov, D. I. Shishlyannikov, V. V. Gabov // Mining journal. 2016. No. 4. - P. 52-56.
13. Pozin E. Z., Melamed, V. Z., Ton V. V. The destruction of coal mining machines – M.: Nedra, 1984. - 288 p.
14. Starkov L. I., Kharlamova N. A. Study of the cross-cutting scheme // Mining journal. News Of Universities, № 7-8, 1997. - 121–123 p.
15. Method of destruction of the rock mass by cross cuts: Pat. 2630839 Russian Federation / Starkov L. I., Shishlyannikov D. I., Chekmasov N. V., Maksimov, A. B., Loskutov, L. A., № 2016120144; statement 24.05.2016; publ. 13.09.2017. Bulletin No. 26. - 9 p.

#### **Библиографическое описание статьи**

Максимов А.Б. Повышение качества гранулометрического состава калийной руды, добываемой проходческо-очистными комбайнами «Урал-20Р» / А.Б. Максимов, Д.И. Шишлянников // Горное оборудование и электромеханика — 2018. — № 4 (138). — С. 4-11.

#### **Reference to article**

Maksimov A.B., Shishlyannikov D.I. Improving the quality of granulometric composition of the pot-ash ore mined by heading-and-winning machines «Ural-20R». Mining Equipment and Electromechanics, 2018, no. 4 (138), pp. 4-11.