

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНОВ РАЗРУШЕНИЯ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ТИПА «УРАЛ»

Д. И. Шишлянников

Enhancement of the bodies of destruction of heading-and-winning machines of the "Ural" type

D. I. Shishlyannikov

The author performed analysis of cutting schemes for massifs of potassium-magnesium salts by the executive body of heading-and-winning machines of the "Ural" type. The author have proved that the accepted design parameters of the rock-breaking executive bodies of these excavating machines determine the significant output of small difficult for concentration classes in breakage products during chip formation, which causes an increased specific energy consumption of the process of destruction of the potassium massif. The cutters of rotary disks realize the most complex cutting schemes for working face, and their trajectories are determined by the frequencies of relative and portable rotation, as well as by the feed rate of the combine. A significant amount of dust-like classes in ore form during the working face destruction by a breaker machine, berm cutters and feed screws, due to the small thickness of the cuts and the sickle-shaped chips, as well as the implementation of a successive cutting scheme. The specific energy costs for the separation of potassium ore by the auxiliary executive bodies are 5-6 times higher than for the destruction of the working face by the cutters of the planetary-disc executive bodies of the combine. The article presents the results of experimental studies of the process of potassium ore destruction by successive, staggered and cross cuts. The author proves efficiency of the cross cutting scheme of cutting potassium salts in comparison with traditional schemes of massif destruction: the specific energy inputs decrease by 25-30% and the output of small unenrichable fractions in ore decreases tenfold. The author proposes the design of the perspective planetary-disc executive body of the combine, which performs the destruction of the potassium massif with crossing cuts. The author substantiates the necessity of using the staggered cutting scheme for the destruction of the potassium massif by auxiliary executive bodies of the "Ural" type combines. Implementation of the proposed technical solutions aimed at improving the executive bodies of tunnel-cleaning combines of "Ural" type does not require significant material costs and a drastic change in the technology of production of these mining machines.

Keywords: heading-and-winning machine; executive body; cross cutting scheme; potash massif; specific energy consumption; unenrichable fractions.

Выполнен анализ схем резания массивов калийно-магниевых солей исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов типа «Урал». Доказано, что принятые конструктивные параметры породоразрушающих исполнительных органов данных выемочных машин определяют значительный выход мелких труднообогатимых классов в продуктах отбойки при стружкообразовании, что обуславливает повышенные удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива. Наиболее сложные схемы резания забоя реализуют резы поворотных дисков, траектории движения которых определяются частотами относительного и переносного вращения, а также скоростью подачи комбайна. Существенное количество пылевидных классов в руде образуется при разрушении забоя отбойным устройством, бермовыми фрезами и шнеками, что обусловлено малыми толщинами резов и серповидной формой стружек, а также реализацией последовательной схемы резания. Отмечено, что удельные энергозатраты на отделение калийной руды вспомогательными исполнительными органами в 5–6 раз выше, чем при разрушении забоя резами планетарно-дисковых исполнительных органов комбайна. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса разрушения калийной руды последовательными, шахматными и перекрестными резами. Доказана эффективность перекрестной схемы резания калийных солей по сравнению с традиционными схемами разрушения массива: на 25–30 % снижаются удельные энергозатраты и на порядок выход мелких небогатимых фракций в руде. Предложена конструкция перспективного планетарно-дискового исполнительного органа комбайна, осуществляющего разрушение калийного массива пересекающимися резами. Обоснована необходимость использования шахматной схемы резания при разрушении калийного массива вспомогательными исполнительными органами комбайнов типа «Урал». Реализация предложенных технических решений, направленных на совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов типа «Урал», не требует значительных материальных затрат и кардинального изменения технологии производства данных добычных машин.

Ключевые слова: проходческо-очистной комбайн; исполнительный орган; перекрестная схема резания; калийный массив; удельные энергозатраты; небогатимые фракции.

Для предприятий, осуществляющих добычу калийно-магниевых руд подземным способом, актуальными остаются задачи повышения эффективности использования выемочных машин механизированных комплексов, снижения удельных энергозатрат процесса разрушения забоя и уменьшения количества мелких пылевидных классов в продуктах отбойки. Решение данных задач возможно посредством совершенствования существующих и разработки новых исполнительных органов добычных комбайнов, обеспечивающих разрушение соляных массивов с рациональными параметрами резания.

В настоящее время на калийных рудниках России и стран Таможенного союза наиболее распространение получили

комбайны типа «Урал» производства ОАО «КМЗ» (г. Копейск, Челябинская обл.), которые выпускаются уже более 30 лет и в целом положительно характеризуются сотрудниками инженерно-технических и сервисных служб добывающих предприятий. Данные выемочные машины оснащены гусеничным ходовым оборудованием и комбинированными породоразрушающими исполнительными органами. При работе комбайнов «Урал» большая часть забоя (от 85 до 95 %) обрабатывается резами поворотных дисков пространственных планетарных исполнительных органов; кровля выработки формируется верхним отбойным устройством, а зачистка почвы и погрузка отбитой руды осуществляются бермовыми фрезами и шнеками.

Анализ схем разрушения забоя исполнительными органами добычных машин и обобщение результатов известных исследований показывают, что наиболее сложные схемы резания реализуют резы поворотных дисков планетарных исполнительных органов, траектории движения которых определяются частотами относительного и переносного вращения, а также скоростью подачи комбайна [1, 2]. При этом параметры резания у поворотных дисков (толщина h и шаг резания t , углы установки реза относительно поверхности забоя) постоянно меняются в определенных пределах, что ухудшает энергетические показатели процесса разрушения и приводит к неравномерному износу резов. При стружкообразовании в зонах входа и выхода из контакта с массивом резов поворотных дисков наблюдается значительный выход мелких, небогатимых фракций (крупность частиц менее 0,25 мм). Повышенное содержание мелких классов в руде приводит как к дополнительным затратам на обогащение руды, так и потерям полезного компонента [3, 4].

Значительное количество пылевидных классов в руде образуется при разрушении забоя отбойным устройством, бермовыми фрезами и шнеками, что обусловлено малой толщиной резов и серповидной формой стружек, а также последовательной схемой разрушения массива. Удельные энергозатраты на отделение калийной руды вспомогательными исполнительными органами в 5–6 раз выше, чем при разрушении забоя резами планетарно-дисковых исполнительных органов комбайна [5–7].

К достоинствам планетарно-дисковых исполнительных органов горных комбайнов следует отнести возможность создания

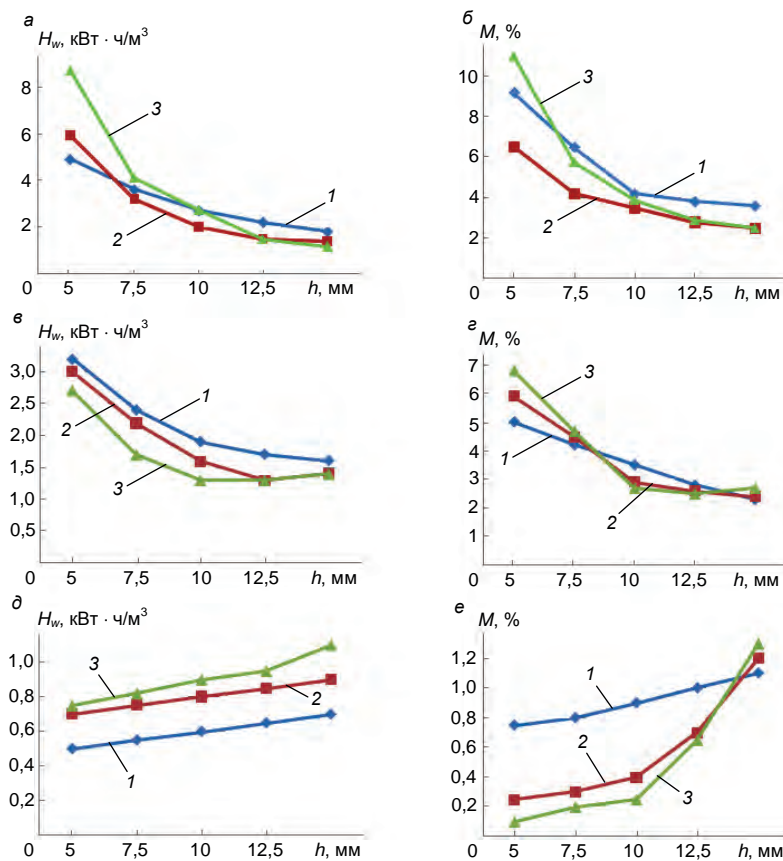


Рисунок 1. Графики изменения удельных энергозатрат (а, в, д) и количества мелких необогатимых классов (б, г, е) при разрушении блоков калийной руды одиночным резцом в зависимости от толщины стружки h и шага резания t . а, б – последовательная схема резания; в, г – шахматная схема резания; д, е – перекрестная схема резания; 1 – $t = 30$ мм; 2 – $t = 40$ мм; 3 – $t = 50$ мм (резец Д-6.22) [3, 8].

на поверхности забоя сетки пересекающихся резов. Исследования, выполненные сотрудниками Пермского национального исследовательского политехнического университета и Санкт-Петербургского горного университета, показывают, что по сравнению с традиционными схемами разрушения забоя (шахматной и последовательной) использование схемы перекрестного резания позволяет снизить удельные энергозатраты H_w процесса разрушения массива на 25–30 % и уменьшить выход мелких, труднообогатимых классов M в продуктах отбойки на порядок (рис. 1) [8–10].

Суть перекрестного резания заключается в том, что разрушение каждого последующего слоя породы осуществляется резами, которые пересекаются под определенным углом с резами предыдущего слоя. Экспериментально доказано, что снижение энергетических показателей процесса отбойки достигается использованием при отработке каждого последующего слоя породы техногенных трещин и ослаблений, оставшихся после разрушения предыдущего слоя [3, 8]. При реализации перекрестной схемы разрушения процесс формирования последовательных элементарных сколов в срезе приобретает более упорядоченный характер и определяется параметрами и расположением пересекающихся резов, которые создают на забое области локальных ослаблений и концентрации напряжений. Сложное сечение стружки и наличие зон локализованных ослаблений обуславливают появление в срезе областей, разрушаемых сколами с устойчивыми значениями параметров, характеризующих их. Иными словами, посредством создания на забое сетки пересекающихся резов формируются участки, которые при отработке последующих слоев будут отделяться от массива единичными устойчивыми сколами с заданными параметрами.

Формируя параметры элементарных сколов в срезе, снижая тем самым объем раздробленной породы, можно уменьшить удельную

энергоёмкость процесса разрушения массива и существенно снизить выход мелких, труднообогатимых классов руды, а также уменьшить динамические нагрузки на резцы комбайнов, что обусловит повышение наработки породоразрушающего инструмента [11–13].

На практике реализация перекрестной схемы резания может быть обеспечена путем замены существующих двухдисковых планетарных исполнительных органов комбайнов «Урал» на четырехдисковые породоразрушающие рабочие органы (рис. 2).

Предлагаемая конструкция рабочего органа горного комбайна состоит из четырех поворотных дисков 1–4, разрушающих забой пересекающимися резами посредством установленных на них рабочих инструментов (резцов) 5. Относительное вращение осуществляется вокруг осей дисков с частотой ω_0 . Диски 1 и 3 разрушают забой радиально-тангенциальными резами, направленными от центра к периферии забоя. Диски 2 и 4 вращаются вокруг своих осей в противоположном дискам 1 и 3 направлении и разрушают забой тангенциально-радиальными резами, направленными от периферии к центру забоя. Диски 1–4 устанавливаются на поворотных редукторах 6, вращающий момент на валы которых передается от раздаточного редуктора 7 (водила). Переносное вращение дисков осуществляется вокруг оси 8 раздаточного редуктора 7 с частотой вращения ω_1 .

Наибольшая доля мелких, пылевидных классов руды, образующихся при резании калийного массива планетарно-дисковыми исполнительными органами комбайнов «Урал», формируется при разрушении периферийных участков забоя, где резы характеризуются малой толщиной стружки h и значительными шагами резания t . С целью обеспечения рациональных параметров резания на периферийных участках забоя на поворотных редукторах 6 устанавливаются гребенки ротора 9 с закрепленными на них породоразрушающими инструментами 10.

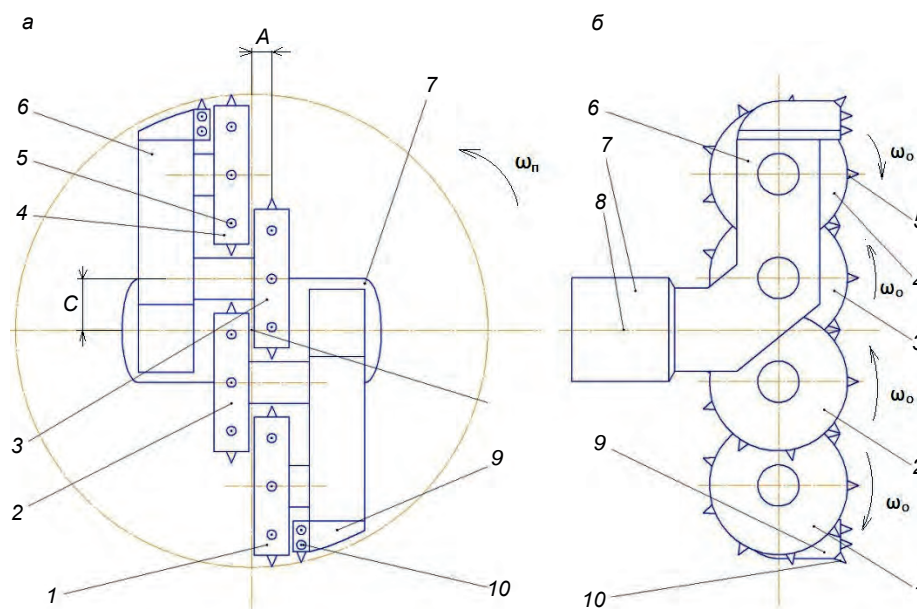


Рисунок 2. Планетарно-дисковый исполнительный орган, реализующий перекрестную схему разрушения калийного массива. а – вид спереди; б – вид сбоку.

Большая часть забоя разрушается резами 5 поворотных дисков 1–4. Разнонаправленное относительное вращение дисков 1, 3 и 2, 4 позволяет компенсировать изгибающий момент на валу редукторного редуктора 7 исполнительного органа и обеспечить курсовую устойчивость проходческо-очистного комбайна.

Так как поворотные диски предлагаемого исполнительного органа имеют разнонаправленное относительное вращение, а смещение резов осуществляется за счет переносного вращения дисков, то на забое (рис. 3) образуется сетка пересекающихся резов 1, имеющих тангенциально-радиальное направление (от периферии забоя к центру), и резов 2, имеющих радиально-тангенциальное направление (от центра к периферии забоя). Взаимное пересечение резов происходит по всей площади забоя, обрабатываемой поворотными дисками. Значения шага резания t и толщины стружки h при разрушении калийного массива резами поворотных дисков определяется по формулам [2]:

$$t = \frac{\pi \omega_n \sqrt{A^2 + (C - r_d \cos \varphi)^2}}{\omega_o z_d}; \quad h = \frac{v_n \sin \varphi}{k_d \omega_o},$$

где φ – угол поворота диска относительно оси вращения при входе реза в контакт с забоем, рад; r_d – 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_d – количество резцов на поворотном диске, шт.; ω_o – частота относительного вращения дисков, об/мин; ω_n – частота переносного вращения дисков, об/мин; v_n – скорость подачи комбайна на забой, мм/мин; k_d – количество резцовых дисков на исполнительном органе, шт.

Наибольшая эффективность схемы перекрестного резания обеспечивается при толщине стружки $h = 5-10$ мм и отношении $t/h = 2,5-4,5$ [8].

Гребенки ротора, закрепленные на поворотных редукторах исполнительного органа, совершают вращение вокруг оси водила и осуществляют разрушение горного массива тангенциальными резами 3 в виде концентрических окружностей. Толщина стружки h_r , отделяемой от массива резами гребенок, постоянная и рассчитывается по формуле

$$h_r = v_n / (\omega_n m),$$

где m – число резцов в линии резания, шт.

Шаг резов t_r , реализуемых резами гребенок ротора, имеет постоянное значение, которое определяется схемой расстановки резцов на исполнительном органе. Следовательно, процесс разрушения периферийных участков забоя можно осуществлять с выбранными рациональными значениями t_r и h_r , что позволит минимизировать образование небогатых пылевидных классов и уменьшить удельные энергозатраты при отделении калийной руды от массива. Для шахматной схемы резания калийного массива рациональные значения $t_r = 40-50$ мм, $h_r = 12-15$ мм (рис. 1).

Конструкция и привод предлагаемого планетарно-дискового исполнительного органа незначительно отличаются от серийных исполнительных органов, установленных на комбайнах типа «Урал», и поэтому для их внедрения в производство не потребуются больших затрат [14]. Четырехдисковый планетарный исполнительный орган характеризуется большим моментом инерции по сравнению с существующими серийно выпускаемыми плане-

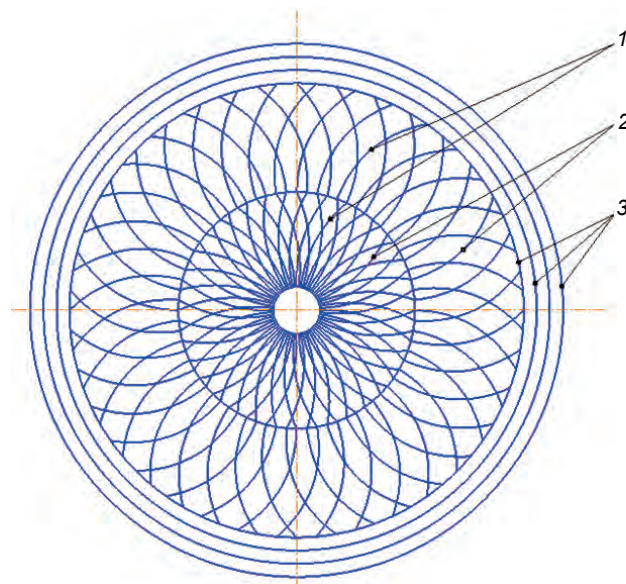


Рисунок 3. Схема расположения резов на забое при разрушении калийного массива предлагаемым планетарно-дисковым исполнительным органом. 1 – резы, направленные от периферии к центру забоя; 2 – резы, направленные от центра к периферии забоя; 3 – тангенциальные резы в виде концентрических окружностей, реализуемые резами гребенок.

тарными органами комбайнов «Урал». Внедрение предлагаемого исполнительного органа обусловит снижение динамических нагрузок на приводы комбайна, что позволит увеличить время безотказной работы добычной машины [15, 16].

Снижение удельных энергозатрат и уменьшение количества мелких классов в продуктах отбойки при работе вспомогательных исполнительных органов комбайнов «Урал» возможно посредством использования схемы расстановки резцов, позволяющей реализовать разрушение калийного массива шахматными резами. Результаты экспериментальных исследований (рис. 1) показывают, что при разрушении массива шахматными резами глубиной 5 мм по сравнению с последовательными резами той же глубины удельные энергозатраты снижаются с 5–9 кВт · ч/м³ до 2,7–3,2 кВт · ч/м³, выход мелких классов сокращается с 7–9 % до 5–6 %.

Таким образом, совершенствование исполнительных органов комбайнов типа «Урал» и реализация рациональных схем резания обеспечивают:

- снижение удельных энергозатрат процесса разрушения массивов калийно-магниевого руд;
- уменьшение количества пылевидных, небогатых классов в продуктах отбойки;
- уменьшение динамических нагрузок на породоразрушающий инструмент и приводы комбайнов и, как следствие, повышение надежности и времени наработки на отказ исполнительных органов в целом.

Реализация предложенных технических решений не требует значительных материальных затрат и кардинального изменения технологии производства выемочных комбайнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. М.: Недра, 1984. 288 с.
2. Кабиев С. К. Оптимизация параметров комбайнов для добычи калийных руд. М.: Недра, 1992. 239 с.
3. Харламова Н. А., Зильбершмидт В. Г., Леонович М. Ф. Влияние глубины и шага резания на энергоемкость разрушения и выход некондиционной мелкой фракции // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 1/2. С. 8–12.
4. Старков Л. И., Харламова Н. А. Исследование схемы перекрестного резания // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 7/8. С. 121–123.
5. Совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал» / В. В. Бувевич [и др.] // Горный журнал. 2016. № 4. С. 52–56.
6. Особенности расчета и увеличения производительности скребковых конвейеров проходческо-очистных комбайнов / Н. В. Чекмасов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 7. С. 8–10.
7. Чекмасов Н. В., Сидякин Д. А. Определение рациональных параметров шнекового погрузчика // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 7. С. 52–53.
8. Шишлянников Д. И. Повышение эффективности отделения калийной руды от массива резами добычных комбайнов: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПГУ, 2012. 159 с.
9. Simulation of the process of destruction of the array of cambrian clays by cutters actuating device of sinking machinery in terms of OJSC "Metrostroy", St. Petersburg / S. A. Lavrenko [and others] // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, № 7. P. 16409–16417.
10. Assessment of URAL-20R machine use efficiency while developing potash salt fields / G. D. Trifanov [and others] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 9. P. 5722–5726.
11. Чекмасов Н. В., Немцев В. А. Обоснование направлений совершенствования проходческо-очистных комбайнов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2005. № 6. С. 238.
12. Чеботарев С. И. Опыт работы фрезерного комбайна на Коелгинском месторождении мрамора // Изв. УГГУ. 2015. № 3 (39). С. 42–46.
13. Лавренко С. А., Труфанова И. С. Теоретические исследования процесса разрушения массива кембрийских глин в компьютерной среде ANSYS // ГИАБ. 2015. № 5. С. 236–244.
14. Чекмасов Н. В., Шишлянников Д. И. Способы и устройства для реализации процессов разрушения калийных пластов перекрестными резами // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 11. С. 2–5.

15. Ivanov S. L., Zvonarev I. E. Analysis of changes in hardness of a metal surface layer in areas of high stress and methods of determining residual life of parts for mining machines // International conference on advanced materials and new technologies in modern materials science. 2016. Vol. 116, № 1. P. 101–109.
16. Шишлянников Д. И. Использование регистраторов параметров работы проходческо-очистных комбайнов при прогнозировании газодинамических явлений на калийных рудниках // Изв. УГГУ. 2016. № 1 (41). С. 106–111.

REFERENCES

1. Pozin E. Z., Melamed V. Z., Ton V. V. 1984, *Razrushenie ugley vyemochnymi mashinami* [Destruction of coals by excavating machines], Moscow, 288 p.
2. Kabiev S. K. 1992, *Optimizatsiya parametrov kombaynov dlya dobychi kaliynykh rud* [Optimization of the parameters of combines for the extraction of potash ores], Moscow, 239 p.
3. Kharlamova N. A., Zil'bershmidt V. G., Leonovich M. F. 1997, *Vliyaniye glubiny i shaga rezaniya na energoemkost' razrusheniya i vykhod nekonditsionnoy melkoy fraktsii* [Influence of the depth and cutting step on the energy intensity of the fracture and the volume of the substandard fine fractions]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 1/2, pp. 8–12.
4. Starkov L. I., Kharlamova N. A. 1997, *Issledovanie skhemy perekrestnogo rezaniya* [Study of the cross-cutting scheme]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7/8, pp. 121–123.
5. Buevich V. V. et al. 2016, *Sovershenstvovaniye ispolnitel'nykh organov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov «Ural»* [Improvement of the executive bodies of heading-and-winning machines "Ural"]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 4, pp. 52–56.
6. Chekmasov N. V. et al. 2006, *Osobennosti rascheta i uvelicheniya proizvoditel'nosti skrebkovykh konveyerov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov* [Particularities of calculation and increase in productivity of scraper conveyors of heading-and-winning machines]. *Gornoe oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 7, pp. 8–10.
7. Chekmasov N. V., Sidiyakin D. A. 2010, *Opreделение ratsional'nykh parametrov shnekovogo pogruzchika* [Determination of the rational parameters of a screw-type loader]. *Gornoe oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 7, pp. 52–53.
8. Shishlyannikov D. I. 2012, *Povysheniye effektivnosti otdeleniya kaliynoy rudy ot massiva reztsami dobychnykh kombaynov: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Increasing the efficiency of separation of potassium ore from the massif with cutters of mining combines: dissertation of candidate of technical sciences], St. Petersburg, 159 p.
9. Lavrenko S. A. et al. 2015, Simulation of the process of destruction of the array of cambrian clays by cutters actuating device of sinking machinery in terms of OJSC "Metrostroy", St. Petersburg. *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 7, pp. 16409–16417.
10. Trifanov G. D. et al. 2016, Assessment of URAL-20R machine use efficiency while developing potash salt fields. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, no. 9, pp. 5722–5726.
11. Chekmasov N. V., Nemtsev V. A. 2005, *Obosnovaniye napravleniy sovershenstvovaniya prokhodchesko-ochistnykh kombaynov* [Substantiation of directions of improvement of heading-and-winning machines]. *Vestnik PNIPIU. Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining], no. 6, pp. 238.
12. Chebotarev S. I. 2015, *Opyt raboty frezernogo kombayna na Koelginskoy mestorozhdenii mramora* [Experience of milling combine working in Koelginskoe marble field]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 3(39), pp. 42–46.
13. Lavrenko S. A., Trufanova I. S. 2015, *Teoreticheskie issledovaniya protsessov razrusheniya massiva kembriyskikh glin v komp'yuternoy srede ANSYS* [Theoretical studies of the destruction of the Cambrian clay massif in the ANSYS computer environment]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 5, pp. 236–244.
14. Chekmasov N. V., Shishlyannikov D. I. 2013, *Sposoby i ustroystva dlya realizatsii protsessov razrusheniya kaliynykh plastov perekrestnymi rezami* [Methods and devices for the implementation of processes of destruction of potash seams by cross cuts]. *Gornoe oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 11, pp. 2–5.
15. Ivanov S. L., Zvonarev I. E. 2016, Analysis of changes in hardness of a metal surface layer in areas of high stress and methods of determining residual life of parts for mining machines. *International conference on advanced materials and new technologies in modern materials science*, vol. 116, no. 1, pp. 101–109.
16. Shishlyannikov D. I. 2016, *Ispol'zovaniye registratorov parametrov raboty prokhodchesko-ochistnykh kombaynov pri prognozirovaniiy gazodinamicheskikh yavleniy na kaliynykh rudnikakh* [Using registers of operating parameters of heading-and-winning machines in predicting gas-dynamic phenomena on potash mines]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1(41), pp. 106–111.

Дмитрий Игоревич Шишлянников,
4varjag@mail.ru
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
Россия, Пермь, Комсомольский просп., 29

Dmitriy Igorevich Shishlyannikov,
4varjag@mail.ru
Perm National Research Polytechnic University
Perm, Russia