

Развитие средств механизированной добычи калийных руд

Шишлянников Д. И.^{1*}, Максимов А. Б.¹

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

*e-mail: 4varjag@mail.ru

Реферат

Введение. Актуальной является задача выявления основных тенденций развития средств механизированной добычи калийных руд, применяемых в условиях соляных месторождений России и стран СНГ.

Методология исследования. Выполнен анализ тенденций совершенствования проходческо-очистных комбайнов для добычи калийно-магниевого солей. Приведены сведения об основных этапах развития проходческо-очистных комбайнов, применяемых при подземной добыче калийно-магниевого солей на рудниках Верхнекамского месторождения. Показано, что первые образцы выемочных машин выполнялись с шагающим ходовым оборудованием и роторными исполнительными органами, реализующими режущо-скалывающий способ разрушения калийного массива. Вследствие значительной динамической нагруженности приводов главных исполнительных органов и низких значений технической производительности данные машины были заменены на комбайны с пространственными планетарно-дисковыми исполнительными органами и гусеничным ходовым оборудованием. Описана конструкция комбайна ПКГ-1 (проходческий комбайн конструкции Я. Я. Гуменника). Приведены данные по проходческо-очистным комбайнам «Караганда-7/15». Изложена информация о достоинствах и недостатках комбайнов с планетарно-дисковыми исполнительными органами. Показаны этапы развития отечественных проходческо-очистных комбайнов «Урал». Выполнен анализ технических решений, применяемых в конструкциях зарубежных выемочных машин для добычи калийных руд. Приведены данные о результатах опытно-промышленной эксплуатации комбайнов 900А «Мариятта» производства компании Sandvik на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей.

Результаты исследования. Определены основные тенденции развития современных проходческо-очистных комбайнов для добычи калийных руд.

Выводы. Показано, что проходческо-очистные комбайны «Урал» являются наиболее адаптированными добычными машинами для горно-геологических и технических условий калийных рудников России и стран СНГ.

Ключевые слова: проходческо-очистной комбайн; калийная руда; этапы развития; анализ технических решений; тенденции развития.

Введение. Современная технология добычи калийных солей в России базируется на применении проходческо-очистных комбайновых комплексов при камерной системе отработки месторождений. Принцип действия выемочных машин, входящих в составы комплексов, основан на механическом отделении калийной руды от массива резанием. Данный способ в обозримом будущем останется приоритетным для подземной добычи калийных солей, так как обеспечивает наименьшие удельные энергозатраты по сравнению с другими известными на сегодняшний день способами разрушения калийного массива [1].

На предприятиях России, осуществляющих добычу калийной руды подземным способом, эксплуатируются выемочные машины как отечественного, так и зарубежного производства. Многообразие моделей комбайнов обуславливает актуальность задачи выявления и анализа основных тенденций развития средств механизированной добычи калийных руд, применяемых в условиях соляных месторождений России и стран СНГ.

Методология исследования: анализ опыта горнодобывающих и машиностроительных компаний. Развитие механизированной проходки выработок

в калийных рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей (ВМКМС) началось в послевоенные годы, после пуска в работу на Соликамском руднике трофейной штрекопроходческой машины производства немецкой фирмы «Шмидт-Кранц». Этот комбайн проходил выработку круглого сечения диаметром 3 м с углами наклона 5–8°, был оборудован исполнительным органом бурового типа в виде трехлучевой коронки и подающим устройством шагающего типа. Опыт использования этого комбайна показал, что с его помощью удалось значительно повысить темпы проходки горных выработок и снизить стоимость проходки. Результаты эксплуатации этого комбайна послужили толчком к началу поисково-конструкторских работ по созданию отечественных проходческо-очистных комбайнов с фронтальными исполнительными органами, предназначенными для валовой (сплошной) выемки мощных пластов [2].

Первым отечественным комбайном, внедренным на рудниках ВМКМС, стал проходческо-очистной комбайн ШБМ-2, разработанный в институте «Сибгипрогормаш» (г. Новосибирск) и выпускавшийся Ясиноватским машиностроительным заводом. Конструкция комбайнов ШБМ-2 включала рабочий орган буроскалывающего типа, ковшовый грузчик, две бермовые фрезы, шагающий механизм перемещения, ленточный конвейер, ограживающий щит, пульт управления и другие вспомогательные узлы. Техническая производительность комбайнов ШБМ-2 была сравнительно низкой и составляла $Q_T = 1,5$ т/мин. Отличительными особенностями комбайна ШБМ-2 (и его модернизации ШБМ-3) была простота, надежность и долговечность конструкции. К 1972 г. общее количество комбайнов типа ШБМ, эксплуатируемых на рудниках Верхнекамского и Старобинского месторождений, составляло около 70 ед.

С учетом результатов эксплуатации и устранения недостатков комбайнов типа ШБМ конструкторами института «Гипроуглемаш» был разработан проходческо-очистной комбайн ПК-8. Образец комбайна прошел опытно-промышленные испытания на руднике БКПРУ-1 ВМКМС в 1965 г., после чего промышленное производство комбайнов было освоено на Ясиноватском машиностроительном заводе. Применение в конструкции комбайна гусеничного ходового оборудования позволило существенно сократить затраты времени на отвод комбайна из очистной камеры и его зарубку.

Конструкция исполнительного органа на первых образцах комбайна ПК-8 была выполнена по типу комбайна ШБМ и предусматривала режуще-скалывающий способ разрушения забоя. Данный способ разрушения калийного массива обуславливал возникновение значительных динамических составляющих нагрузок на приводах исполнительного органа, что существенно влияло на межремонтный период комбайна и ограничивало его техническую производительность ($Q_T = 2$ т/мин). В 1971 г. режуще-скалывающий орган комбайна ПК-8 был заменен на орган со сплошным резанием и комбайн получил шифр ПК-8М. Последующая модификация комбайнов (модернизировано гидрооборудование, ряд основных узлов и увеличена техническая производительность до $Q_T = 4$ т/мин) получила шифр ПК-8МА. В настоящее время комбайн ПК-8МА под шифром ПК-8 выпускается Солигорским институтом проблем ресурсосбережения с опытным производством (г. Солигорск, Белоруссия) [2, 3].

Наряду с использованием комбайнов, оснащенных исполнительными органами сплошного действия, предпринимались попытки внедрения добычных машин со стреловидными и барабанными исполнительными органами, обеспечивающими селективную выемку соляных пород. Неудовлетворительные результаты опытно-промышленной эксплуатации данных машин были обусловлены сложностью обеспечения поперечной устойчивости и низкой технической производительностью комбайнов [4].

Первый проходческий комбайн в СССР с пространственным планетарным исполнительным органом и гусеничным ходовым оборудованием ПКГ-1 был разработан Я. Я. Гуменником. Экспериментальный образец комбайна ПКГ-1 изготовлен и испытан в 1953 г. на шахте «Байдаевская» треста «Куйбышевуголь» в Кузбассе. Впоследствии специалистами Государственного проектно-конструкторского и экспериментального института угольного машиностроения «Гипроуглемаш» в 1954–1955 гг. разработана усовершенствованная конструкция комбайна ПКГ-1, получившая название ПКГ-2. Небольшая партия этих машин была изготовлена Малаховским экспериментальным заводом (Московская обл.). В 1959 г. комбайн ПКГ-2 модернизирован и получил обозначение ПКГ-3. Именно в конструкции комбайнов Я. Я. Гуменника было впервые реализовано основное преимущество пространственных планетарно-дисковых исполнительных органов: взаимодействие с забоем как можно меньшего числа инструментов и сосредоточение на них всей мощности приводов и всего напорного усилия [5, 6].

Проектно-конструкторская работа по совершенствованию комбайна ПКГ-3 специалистами института «Гипроуглемаш» привела к созданию проходческо-очистного комбайна «Караганда-7/15» и его модификаций 7/15С и 7/15М, предназначенных для добычи каменной соли и калийных руд.

Комбайн «Караганда-7/15» (7/15С и 7/15М) состоял из планетарно-дискового исполнительного органа с механизмом качания, бермовых фрез с отрезными барабанами, служащих для подрезки почвы и транспортировки руды к приемной части скребкового конвейера-грузчика, гусеничной ходовой части, щита ограждения и пультов управления [2–4]. Комбайн «Караганда-7/15С» (7/15М) серийно выпускался с 1969 г. В 1972 г. в ПО «Уралкалий» в промышленной эксплуатации находились 35 таких выемочных машин.

Комбайны типа «Урал» начали разрабатываться в институте «Гипроуглемаш» в период внедрения комбайнов «Караганда-7/15С» в 1970–1971 гг. Опытный образец комбайна модификации «Урал-20КС» был изготовлен в 1971 г. Копейским машиностроительным заводом им. С. М. Кирова. Серийное производство комбайнов «Урал-10КС» и «Урал-20КС» было освоено тем же заводом в 1976 г. [4].

В 1977–1980 гг. комбайны «Урал» были модернизированы и с 1981 г. начали выпускаться под обозначениями «Урал-10КСА» и «Урал-20КСА». В процессе модернизации удалось повысить надежность и долговечность комбайнов за счет увеличения установленной мощности приводов, доработки конструкции редукторов и гидросистемы. Кроме того, комбайны «Урал» оснастили регуляторами нагрузки электроприводов типа ПРИЗ. Всего в период с 1971 по 1989 г. был выпущен 281 комбайн модификации «Урал-20КС (КСА)». Единичные экземпляры этих машин продолжают эксплуатироваться на Украине [2, 3, 6].

В 1984 г. изготовлены образцы комбайнов «Урал-10А» и «Урал-20А», которые были дополнительно оснащены аппаратурой дистанционного управления (АДУ), лазерной установкой для контроля положения комбайна в очистной камере, устройствами защиты электродвигателей от перегрузки типа КОРД, аппаратурой обеспечения полуавтоматического режима работы комплекса *комбайн–бункер-перегрузатель–самоходный вагон*. Производство комбайнов «Урал-20А» закончилось в 2004 г. Было выпущено 187 комбайнов модификации «Урал-20А», некоторые из которых продолжают успешно эксплуатироваться на рудниках России и Белоруссии [2].

Комбайн «Урал-20Р» является в настоящее время последней модификацией комбайнов типа «Урал-20». Опытные образцы проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» были поставлены на рудники ВМКМС в 2001 г.

Комбайны «Урал-20Р» аналогичны по конструкции ранее выпускавшимся модификациям «Урал-20А» и «Урал-20КСА» и отличаются от предыдущих модифи-

каций конструкцией забурника, некоторыми геометрическими параметрами планетарно-дисковых исполнительных органов, редукторами с модернизированными подшипниковыми узлами и большими модулями зацепления зубчатых пар, большей установленной мощностью приводов породоразрушающих исполнительных органов, более совершенными узлами гидравлики и электрики. Все внесенные в конструкцию изменения позволили повысить максимальную техническую производительность комбайнов «Урал-20Р» по отбойке руды до 8 т/мин по сравнению с 6,4 т/мин для комбайнов «Урал-20А» [6, 7].

Многочисленные модернизации комбайнов «Урал-20» в основном обусловлены не совсем удачными техническими решениями по компоновке и комплектации исполнительных органов. В результате выполненных модернизаций компоновка планетарных исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» оказалась точно такой, как у комбайнов «Урал-10КС» и «Урал-10А», главные исполнительные органы которых не подвергались модернизации.

За 42 года серийного производства Копейским машиностроительным заводом выпущено более 1000 комбайнов «Урал» различных модификаций. Комбайны «Урал» широко используются при разработке Старобинского месторождения калийных руд в Белоруссии, при добыче каменной (поваренной) соли на Соль-Илецком месторождении в Оренбургской области и Тыретьском месторождении в Иркутской области, на Артемовском месторождении в Донецкой области Украины. Семь комбайнов «Урал-20КС» («Урал-20КСА») были поставлены с 1976 по 1989 гг. на рудники «Бергбау», «Вера» и «Глюкауф» в ГДР, где эксплуатировались на добыче калийной руды и каменной соли. Комбайны «Урал-20Р» используются на Тюбегатанском месторождении в Республике Узбекистан, на Гарлыкском месторождении в Республике Туркменистан [8].

Породоразрушающие исполнительные органы и погрузочное оборудование комбайна «Урал-20Р» приводятся в действие от трехфазных асинхронных электродвигателей через механические трансмиссии. Привод механизма хода – гидравлический, обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости подачи комбайна. Электрооборудование комбайна выполнено в рудничном взрывозащищенном и взрывобезопасном исполнении [7]. Аналогичные технические решения применялись в разное время при создании комбайнов «Вольмейер» (ФРГ), «Хаббегер» (Швейцария), «Атлас Копко FF260 – FF550» (Швеция) [6].

При добыче калийных руд в США, Канаде, странах Евросоюза широкое применение получили комбайны 2ВТ-6 фирмы «Джой», 426 и 526 фирмы «Гудмен», 1012АСД, 780А и 900А «Мариетта» концерна «Сандвик». Основным отличием современных зарубежных аналогов от отечественных комбайнов «Урал» является использование в их конструкциях исполнительных органов роторного типа, более высокая установленная мощность двигателей исполнительных органов, в то же время меньшее общее количество электродвигателей, что зачастую обуславливает лучшие показатели надежности приводов комбайнов [2, 4].

Например, комбайны для добычи калийно-магниевого руд 900А «Мариетта» имеют техническую производительность не менее 10 т/мин, что более чем на 25 % превосходит соответствующий показатель комбайнов «Урал-20Р» [9, 10]. При добыче менее крепких руд (предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} < 27$ МПа) производительность комбайна может достигать до 20 т/мин.

Испытанный на рудниках ПАО «Уралкалий» комбайн 900А «Мариетта» (MF-320) производства концерна «Сандвик» [2, 9, 10] в сравнении с комбайном «Урал-20Р» показал следующие преимущества:

- масса 126 т против 100–110 т комбайна «Урал-20Р»;
- установленная мощность приводов породоразрушающих исполнительных органов 746 кВт (два электродвигателя) против 590 кВт комбайна «Урал-20Р» (шесть электродвигателей);

– радиальный вылет резцов составляет 48,5 мм, что позволяет обеспечить производительность более 10 т/мин;

– исполнительный орган имеет более простую конструкцию, что повышает надежность машины в целом, состоит из двух трехлучевых буровых коронок и верхнего и нижнего отбойных барабанов (комбайны «Урал-20Р» оснащаются планетарно-дисковыми исполнительными органами, бермовыми фрезами, шнеками и отбойным устройством, привод исполнительных органов включает сложные разветвленные трансмиссии);

– основная часть забоя разрушается резами концентрической формы с постоянными значениями шага резания и толщины стружки, что позволяет снизить удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива и уменьшить количество пылевидных классов в продуктах отбойки – отходов горного производства;

– в конструкциях редукторов исполнительных органов комбайнов 900А «Мариетта» (MF-320) отсутствуют конические передачи, что повышает наработку на отказ трансмиссий данных комбайнов в 1,5–2 раза по сравнению с комбайнами «Урал-20Р»;

– на комбайне 900А «Мариетта» применяется одноцепной скребковый конвейер с гидравлическим приводом, максимальная производительность которого составляет 24 т/мин (минимум в 2,5 раза превышает производительность конвейера комбайна «Урал-20Р»);

– на комбайне 900А «Мариетта» применена ходовая часть с индивидуальным гидроприводом на каждую гусеничную тележку, что позволяет обеспечить значительные напорные усилия на забой и минимизировать проскальзывания гусениц друг относительно друга, характерные для дифференциального привода ходовой части комбайнов «Урал-20Р» ранних модификаций;

– комбайн 900А «Мариетта» (MF-320) оснащен современными системами автоматического управления, двусторонней системой радиосвязи, индикаторами и приборами наблюдения за состоянием всех рабочих процессов и систем, узлов и агрегатов [2, 9].

Следует, однако, отметить, что опытная эксплуатация комбайнов зарубежных фирм показала меньшую эффективность использования данных добычных машин, чем у отечественных аналогов. Иностранные проходческо-очистные комбайны сложны в обслуживании и ремонте; для заправки гидросистем необходимы специальные дорогостоящие рабочие жидкости; узлы отдельных систем плохо защищены от агрессивного воздействия атмосферы соляных рудников. Указанные факторы в сочетании со значительной стоимостью добычных машин и политикой экономических санкций, которые вынуждены поддерживать европейские и американские машиностроительные предприятия, обусловили отказ от широкого внедрения иностранных проходческо-очистных комбайнов на калийных рудниках России [11, 12].

Результаты исследования. На сегодняшний день в мировой и отечественной практике машиностроения для калийных добывающих предприятий основными тенденциями являются:

– увеличение массы и установленной мощности приводов исполнительных органов выемочных комбайнов, так как более массивная и мощная машина, как правило, обеспечивает большую производительность;

– совершенствование элементов гидропривода и гусеничной ходовой части, что в сочетании с увеличенной массой комбайна позволяет повысить напорные усилия при подаче выемочной машины на забой;

– разрушение массивов стружками большого сечения с рациональными заданными параметрами шага резания и толщины стружки, что позволяет увеличить

энергоэффективность работы выемочных машин и уменьшить количество пылевидных классов в продуктах отбойки – отходов горного производства;

– упрощение кинематических схем механических трансмиссий приводов исполнительных органов, что позволяет повысить надежность комбайнов;

– внедрение средств автоматического и дистанционного управления, что позволяет обеспечить безопасное и эффективное использование выемочной машины.

Выводы. Анализ данных литературных источников, отображающих опыт отечественных и зарубежных машиностроительных компаний, а также отзывов инженерно-технических сотрудников горнодобывающих предприятий позволяет сделать вывод о том, что проходческо-очистные комбайны «Урал» являются наиболее адаптированными добычными машинами для горно-геологических и технических условий калийных рудников России и стран СНГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. No. 44 (3). P. 283–287.

2. Старков Л. И., Земсков А. Н., Кондрашев П. И. Развитие механизированной разработки калийных руд. Пермь: ПГТУ, 2007. 522 с.

3. Пинский В. Л. Развитие техники и технологии добычи калийных руд в России // Горный журнал. 2007. № 8. С. 13–17.

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

5. Архангельский А. С. Проходческий комбайн конструкции Якова Гуменника. М.: Углетехиздат, 1956. 57 с.

6. Семенов В. В. Обоснование и выбор параметров исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов нового поколения для добычи калийных руд: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2011. 219 с.

7. Комбайн проходческо-очистной «Урал-20Р»: руководство по эксплуатации. Копейск: КМЗ, 2006. 279 с.

8. Уголкин С. И., Петров В. П. Организация технического сервиса горно-шахтного оборудования производства ОАО «КМЗ» // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 8. С. 50–53.

9. Компания Sandvik Mining and Construction подписала контракт с ОАО «Уралкалий» о поставке горных комбайнов. URL: <http://mining-media.ru/ru/article/podzemmach/273-kompaniya-sandvik-mining-and-construction-podpisala-kontrakt-s-oao-uralkalij-o-postavke-gornykh-kombajnov> (дата обращения 12.12.2018).

10. Мариетта для «Уралкалия». URL: <https://www.newsko.ru/articles/nk-301520.html> (дата обращения 12.12.2018).

11. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of "Ural-20R" heading-and-winning machine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. No. 87 (2) / 022055.

12. Trifanov G. D., Shishlyannikov D. I., Lavrenko S. A. Assessment of URAL-20R machine use efficiency while developing potash salt fields // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. No. 11 (9). P. 5722–5726.

Поступила в редакцию 14 декабря 2018 года

Сведения об авторах:

Шишлянников Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: 4varjag@mail.ru

Максимов Алексей Борисович – аспирант кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: maksimov.aleksey.9858975@gmail.com

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-3-15-21

The development of potash ore mechanized extraction

Dmitrii I. Shishlyannikov¹, Aleksei B. Maksimov¹

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

Abstract

Introduction. The task of identifying the main trends in the development of potassium ores mechanized mining means used in salt deposits of Russia and CIS countries is relevant.

Research methodology. The data on the main stages of development of heading-and-winning combines used in underground mining of potassium and magnesium salts in the mines of the Upper Kama (Verkhnekamskoe) deposit were presented. It is shown that the first samples of excavating machines were designed with walking running equipment and rotary actuators, implementing the cutting-chipping method of potassium massifs destruction. Due to the significant dynamic loading of main executive bodies' drives and low values of technical performance, these machines were replaced by combines with spatial planetary disk actuators and crawler running equipment. The design of the harvester PKG-1 (roadheader design by Ia. Ia. Gumennik) was described. Data on heading-and-winning combines Karaganda-7/15 were given. The information about advantages and disadvantages of combines with planetary-disk executive bodies was presented. Stages of development of domestic heading-and-winning combines Ural were shown. The analysis of technical solutions used in the construction of foreign excavating machines for potash ores extraction was carried out. The data on the results of pilot operation of 900A Marietta combines produced by Sandvik in the mines of the Verkhnekamskoye deposit of potassium and magnesium salts are presented.

Research results. The main trends in the development of modern heading-and-winning combines for potash ores extraction are determined.

Conclusion. It is proved that heading-and-winning combines Ural are the most adapted mining machines for geological and technical conditions of potash mines of Russia and CIS countries.

Key words: heading-and-winning combine; potash ore; stages of development; analysis of technical solutions; development trends.

REFERENCES

1. 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): 283–287.
2. Starkov L. I., Zemskov A. N., Kondrashev P. I. *The evolution of mechanized development of potash ores*. Perm: PSTU Publishing; 2007. (In Russ.)
3. Pinskiy V. L. The development of machinery and the technology of potash ore extraction in Russia. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2007; 8: 13–17. (In Russ.)
4. Brenner V. A. et al. *Operation modes of combine harvesters for potash ore extraction*. Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
5. Arkhangel'skii A. S. *Roadheader design by Yakov Gumennik*. Moscow: Ugletekhizdat Publishing; 1956. (In Russ.)
6. Semenov V. V. *Rationale for the choice of parameters of the executive bodies of new generation heading-and-winning combines for potash ore extraction*. PhD (engineering) diss. Tula; 2011. (In Russ.)
7. *Heading-and-winning combine Ural-20R. User manual*. Kopeysk: KMZ Publishing; 2006. (In Russ.)
8. Ugolkin S. I., Petrov V. P. Organization of technical service for JSC KMZ mining equipment. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2008; 8: 50–53. (In Russ.)
9. Mining-media. *Sandvik Mining and Construction has signed a contract with Uralkali for the supply of mining combines*. Available from: <http://mining-media.ru/ru/article/podzemnash/273-kompaniya-sandvik-mining-and-construction-podpisala-kontrakt-s-oao-uralkali-j-o-postavke-gornyx-kombajnov> [Accessed 12th December 2018]. (In Russ.)
10. Newsko. *Marietta for the Uralkali*. Available from: <https://www.newsko.ru/articles/nk-301520.html> [Accessed 12th December 2018]. (In Russ.)
11. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of "Ural-20R" heading-and-winning machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017; 87 (2): 022055.
12. Trifanov G. D., Shishlyannikov D. I., Lavrenko S. A. Assessment of Ural-20R machine use efficiency while developing potash salt fields. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016; 11 (9): 5722–5726.

Received 14 December, 2018

Information about authors:

Dmitrii I. Shishlyannikov – PhD (Engineering), associate professor of the Mining Electromechanics Department, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: 4varjag@mail.ru

Aleksei B. Maksimov – PhD student of the Mining Electromechanics Department, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: maksimov.aleksey.9858975@gmail.com

Для цитирования: Шишлянников Д. И., Максимов А. Б. Развитие средств механизированной добычи калийных руд // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 3. С. 15–21. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-3-15-21

For citation: Shishlyannikov D. I., Maksimov A. B. The development of potash ore mechanized extraction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 3: 15–21 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-3-15-21