

УДК 622.322.8

**Д.И. Шишлянников, А.Е. Суханов, А.А. Ренке**

**D.I. Shishlyannikov, A.E. Sukhanov, A.A. Renke**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **РАЗВИТИЕ ГОРНО-ВЫЕМОЧНЫХ МАШИН КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ**

### **DEVELOPMENT OF MINING MACHINES POTASH MINES**

Описаны основные этапы развития проходческо-очистных комбайнов, применяемых на рудниках Верхнекамского месторождения. Приведена информация о том, как изменялись ходовая часть и рабочие органы комбайнов. Изложены достоинства и недостатки роторных и планетарно-дисковых исполнительных органов. Показаны этапы развития отечественных проходческо-очистных комбайнов «Урал». Выполнен анализ технических решений, применяемых в конструкциях зарубежных выемочных машин для добычи калийных руд. Представлены данные о применении зарубежных опытно-промышленных образцов в условиях калийных рудников Верхнекамского месторождения.

**Ключевые слова:** проходческо-очистной комбайн, этапы развития, исполнительный орган, механизм перемещения, «Урал-20», «Мариетта», калийный рудник.

The paper describes the main stages in the development of heading-and-winning combines used in the mines of the Verkhnekamsk deposit. Information is provided on how the chassis and working bodies of combines changed. The advantages and disadvantages of rotary and planetary-disk executive bodies are described. The stages of development of domestic Ural heading-and-winning combines are shown. The analysis of technical solutions used in the design of foreign mining machines for the extraction of potash ores is performed. The data on the use of foreign experimental industrial samples in the conditions of potash mines of the Verkhnekamsk deposit are presented.

**Keywords:** heading-and-winning combines, stages of development, rock-breaking tool, traveling gear, Ural-20R, Marietta, potash mine.

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.

Развитие механизированной проходки выработок в калийных рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВМКМС) началось в послевоенные годы, после пуска в работу на Соликамском руднике трюфенной штрекопроходческой машины производства немецкой фирмы «Шмидт-Кранц». Этот комбайн проходил выработку круглого сечения диаметром 3 метра с углами наклона 5–8°, был оборудован исполнительным органом бурового типа в виде трёхлучевой 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 комбайнов 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 единиц.

С учетом результатов эксплуатации и устранения недостатков комбайнов типа ШБМ конструкторами института «Гипроуглемаш» был разработан проходческо-очистной комбайн ПК-8 (рис. 1). 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.

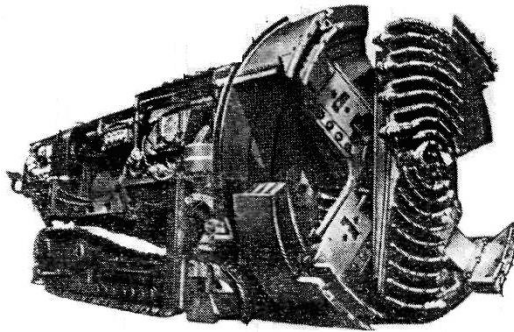


Рис. 1. Комбайн проходческо-очистной ПК-8

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 заменён на орган со сплошным резанием, и комбайн получил шифр ПК-8М. Последующая модификация комбайнов (модернизированы 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 ПКС-8 выпускается ЗАО «Солигорский институт 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» (рис. 2) был разработан Я.Я. Гуменником. Экспериментальный образец комбайна ПКГ-1 изготовлен и испытан в 1953 г. на шахте «Байдаевская» треста «Куйбышевуголь» в Кузбассе. Впоследствии, в 1954–1955 гг., специалистами государственного проектно-конструкторского и экспериментального института угольного машиностроения «Гипроуглемаш» была разработана усовершенствованная конструкция комбайна ПКГ-1, получившая название ПКГ-2.

Небольшая партия этих машин была изготовлена Малаховским экспериментальным заводом (пгт. «Малаховка», 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].

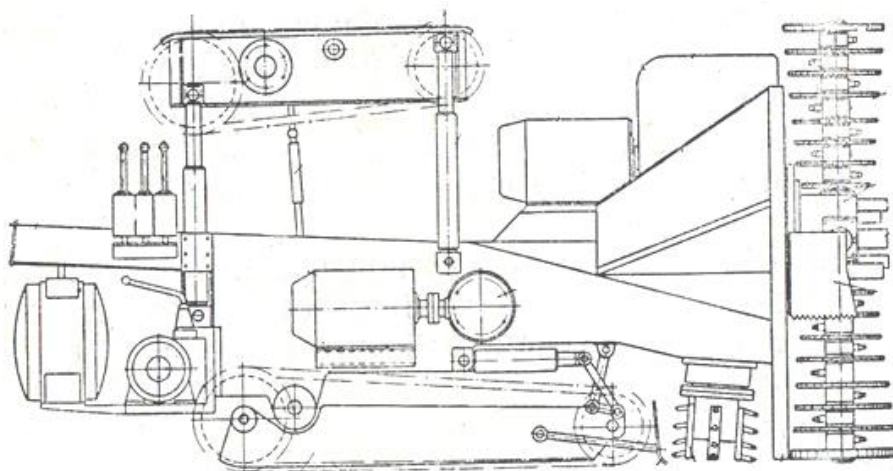


Рис. 2. Комбайн ПКГ-1 конструкции Я.Я. Гуменника

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

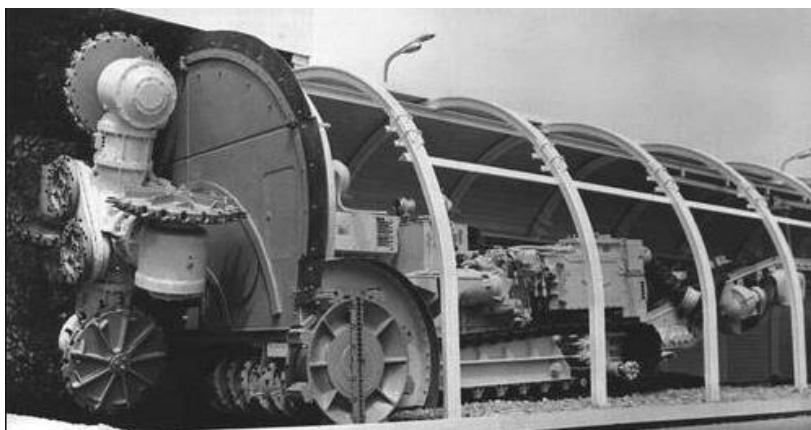


Рис. 3. Комбайн «Караганда-7/15»

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, 3, 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. год был выпущен 281 комбайн модификации «Урал-20КС (КСА)». Единичные экземпляры этих машин продолжают эксплуатироваться на Украине [2, 3, 6].



Рис. 4. Проходческо-очистной комбайн «Урал-20А»

В 1984 г. изготовлены образцы комбайнов «Урал-10А» и «Урал-20А» (рис. 4), 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 них продолжают успешно эксплуатироваться на рудниках России и Белоруссии [2].

Комбайн «Урал-20Р» (рис. 5) 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 модификаций 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 внесённые 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, 8].



Рис. 5. Общий вид комбайна «Урал-20Р-11/12»

Многочисленные модернизации комбайнов «Урал-20» обусловлены в основном 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 АО «Копейский машиностроительный завод» 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 г. 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, оговаривалась поставка данных выемочных машин на Гарлыкское месторождение в Республику Туркменистан [7].

Породоразрушающие исполнительные органы и погрузочное оборудование комбайна «Урал-20Р» приводятся в действие от трёхфазных асинхронных электродвигателей через механические трансмиссии. Привод механизма хода – гидравлический, обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости подачи комбайна. Электрооборудование комбайна выполнено в рудничном взрывозащищённом и взрывобезопасном исполнении [8]. 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 ЕС широкое применение получили комбайны 2ВТ-6 фирмы «Джой», 426 и 526 фирмы «Гудмен», 1012АСД, 780А и 900А «Марьетта» 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 руды 900А «Марьетта» (рис. 6) 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.

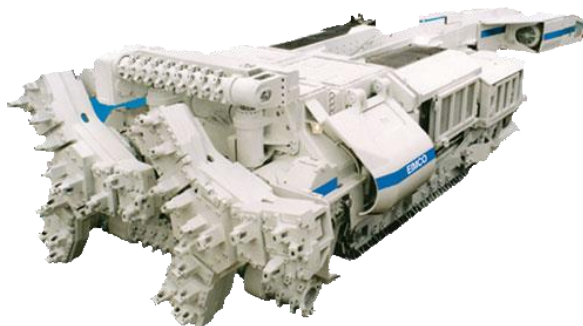


Рис. 6. Проходческо-очистной комбайн 900А «Марьетта»

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 комбайнов «Урал-20Р»;
- установленная мощность приводов породоразрушающих исполнительных органов 746 кВт (два электродвигателя) против 590 кВт у 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 надёжность машины в целом, состоит из двух трёхлучевых 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 разветвлённые 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 относительно друг 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. Иностранские проходческо-очистные комбайны сложны в обслуживании и ремонте; для заправки гидросистем необ-



ходимы специальные дорогостоящие рабочие жидкости; узлы отдельных систем плохо защищены от агрессивного воздействия атмосферы соляных рудников. Вышеуказанные 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].

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 надёжность комбайнов;
- внедрение средств автоматического и дистанционного управления, позволяющих обеспечить безопасное и эффективное использование выемочной машины.

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.

### Список литературы

1. Substantiation of the rational method to control the operating and technical-condition parameters of a heading-and-winning machine for potash mines / D.I. Shishlyannikov, N.V. Chekmasov, M.G. Trifanov, S.L. Ivanov, I.E. Zvonarev // *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 / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2007. – 522 с.
3. Пинский В.Л. Развитие техники и технологии добычи калийных руд в России // *Горный журнал*. – 2007. – № 8. – С. 13–17.

4. Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд / В.А. Бреннер, И.С. Зильберт, В.А. Зыков, Д.М. Любощинский. – М.: Недра, 1978. – 216 с.

5. Архангельский А.С. Проходческий комбайн конструкции Якова Гуменика. – 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, спец. 05.05.06. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 219 с.

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

8. Комбайн проходческо-очистной «Урал-20Р». Руководство по эксплуатации; ОАО «КМЗ». – Копейск, 2006. – 279 с.

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

10. «Мариетта» для «Уралкалия» [Электронный ресурс]. – 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.

Получено 17.09.2020

**Шишлянников Дмитрий Игоревич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горная электромеханика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dish844@gmail.com.

**Суханов Андрей Евгеньевич** – студент, кафедра «Горная электромеханика», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: andy1997sae@gmail.com.

**Ренке Артём Александрович** – студент, кафедра «Горная электромеханика», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: artyomrenke98@gmail.com.