

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 629.331

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЛАНЕТАРНО-ДИСКОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Г.А. Басалай

Представлены результаты исследования по оценке эффективности фрезерования массива горной породы зубками планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна и разработки по его модернизации

Ключевые слова: проходческо-очистной комбайн, планетарный исполнительный орган, фрезерование горной породы.

На рудниках ОАО «Беларуськалий» в настоящее время в подавляющем большинстве по объему добываемой руды применяют столбовые системы разработки с длинными очистными забоями. При отработке краевых зон применяются камерные и комбинированные системы. При проходке вспомогательных штреков при подготовке шахтных полей для очистных комплексов, а также для добычи полезного ископаемого камерным способом в технологических процессах широко применяются проходческие комбайны с основным исполнительным органом (ИО) в виде соосных роторов (ПК-8МА, ПКС-8М и КРП-3), а также проходческо-очистные комбайны с планетарно-дисковым ИО: «Урал-10А» и «Урал-61» (производитель – Копейский машиностроительный завод, Россия), а также КПО-10,5 (производитель – Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством, Республика Беларусь). Проведение подземных горных выработок с помощью комбайнов является наиболее прогрессивным способом, так как при этом обеспечиваются высокая скорость проходки и максимальная механизация работ при значительном упрощении организации и повышении безопасности труда рабочих [1].

В соответствии с утвержденным Проектом на разработку Гарлыкского месторождения калийных солей, расположенного в Республике Туркменистан, основным способом добычи руды предусмотрен камерный.

Поэтому на проходческие комплексы возлагается наиболее масштабная технологическая функция по обеспечению обогатительных фабрик рудой. В качестве основного технологического оборудования рудников заложены проходческо-очистные комбайны со сдвоенным планетарно-дисковым исполнительным органом, проходческие комбайны с соосными роторами, а также шахтные самоходные вагоны.

Целью работы является повышение надёжности привода планетарно-дискового исполнительного органа, увеличение производительности проходческо-очистного комбайна, а также снижение энергозатрат при подземной разработке калийных месторождений.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи.

1. Проведен комплекс исследований по анализу режимов работы планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна в условиях рудников ОАО «Беларуськалий», выполнены анализ фракционного состава руды, моделирование движения зубков планетарно-дискового ИО, анализ формы стружки.

2. Модернизация исполнительного органа для снижения удельных затрат энергии на фрезерование горной породы и увеличение производительности комбайна, а также повышения эффективности фрезерования горной породы при проходке подземных выработок.

Проходческо-очистной комбайн «Урал-10А» или КПО-10,5 состоит из сдвоенного исполнительного органа планетарного типа, разрушающего забой двумя парами резцовых дисков, верхнего отбойного устройства, оформляющего кровлю выработки, и бермового органа с боковыми фрезами и шнеками, служащими для выравнивания почвы и подрезки углов выработки, а также гусеничного хода, осуществляющего перемещение комбайна на рабочих и маневровых режимах. Для подбора отбитой руды и передачи ее в транспортные средства, то есть бункер-ререгрузатель или самоходный вагон, служат шнек, боковые фрезы и конвейер, выполненный в виде рамы комбайна, внутри которого размещена скребковая цепь.

Поперечное сечение горной выработки проходческо-очистного комбайна имеет арочную форму с прямым участком в середине. Параметры выработки: по высоте от 2,3 до 2,6 м, а по ширине соответственно 3,8...4,1 м. Форма забоя пространственная, то есть тороидальная, образуемая основными режущими дисками по основному контуру, также имеются овальные зоны, образуемые верхним отбойным органом по кровле и нижними оформляющими фрезами по почве выработки.

На первом этапе проведен комплекс исследований по анализу режимов работы планетарно-дискового ИО проходческо-очистного комбайна в условиях отработки второго горизонта на Первом руднике. При этом выполнены лабораторные исследования фракционного состава руды, моделирование движения зубков планетарно-дискового ИО, а также анализ формы стружки.

Результаты лабораторного исследования фракционного состава руды, образуемой на четырех режимах подачи комбайна на забой, можно разделить на три группы:

- массовая доля крупной фракции с размером руды от 5 до 40 мм составляет 63 %;

- средняя группа – мелкая с частицами от 0,5 до 5 мм с содержанием до 28,2 % образуется с дополнительным расходом энергии;

- пылевидная составляющая (8,2 %) менее 0,5 мм негативно влияет на работу систем и механизмов комбайна, а также создает большую нагрузку на работу пылеосадительной системы.

Таким образом, перспективным направлением снижения доли пылевидной и мелкой фракций в руде при работе проходческого комбайна является повышение эффективности фрезерования массива планетарно-дисковым исполнительным органом.

Одним из основных рабочих механизмов комбайна являются две пары резцовых дисков на левом и правом ИО. Резцы дисков совершают сложное движение, складывающееся из относительного (вращение резцового диска относительно своей оси) и переносного (вращение дисков относительно оси редуктора исполнительного органа) движений. Раздаточные редукторы в рабочем положении взаимно развернуты на 90°, а их вращение синхронизировано приводом переносного вращения. Синхронизация переносного вращения обеих пар резцовых дисков осуществляется за счет жесткой кинематической связи через общий привод переносного вращения [2].

Эффективность их работы в значительной степени зависит от оптимальных режимов их эксплуатации.

Оптимизация режимов работы резцов в зависимости от конкретных горно-геологических и горно-технических условий сопряжена со сложностью кинематических расчетов и правильностью выбора параметров траекторий движения инструмента.

Одной из важных особенностей планетарных исполнительных органов с перпендикулярными осями является непостоянство толщины стружки, срезаемой одним резцом. При различных значениях частот вращения фрез и ротора, шага расстановки резцов, скорости подачи комбайна толщина стружки, срезаемой одним резцом, может существенно изменяться за один оборот. Для изучения данного вопроса авторами разработана модель и обоснованы расчетные зависимости для описания траекторий режущих элементов планетарного ИО с перпендикулярными осями.

В ходе анализа получена модель планетарного исполнительного органа и уравнения движения резцов. Разработан алгоритм расчета и построены траектории резцов при фрезеровании горной породы. Составлена программа, позволяющая изображать в динамике данные траектории. В качестве исходных параметров выбраны радиусы по линиям реза инстру-

мента и водила, а также отношение частот вращения рукояти и дисковых фрез. Моделирование траектории движения резцов позволяет рассчитать толщину среза горной породы одним резцом во время его движения вдоль забоя. В зависимости от конкретных горно-геологических и горно-технических условий можно подобрать оптимальные параметры и траекторию движения резца планетарного исполнительного органа для надежной и эффективной его работы.

Правильным подбором частоты вращения можно добиться такого сечения, обрабатываемого одним резцом, при котором нагрузка на резцы становится меньше за счет более рационального их нагружения. Однако независимо от соотношения частоты вращения у планетарных ИО, как и у цилиндрических ИО, в начале и в конце рабочего хода резцов срезается тонкий слой стружки, толщина которого нарастает до половины рабочего хода, а затем снова снижается до нулевого значения. Это является причиной повышенного пылеобразования при фрезеровании горной породы. Особенностью планетарных ИО является также то, что с началом рабочего хода резца увеличивается не только толщина срезаемого слоя, но и скорость резания, ширина обрабатываемой полосы, которые нарастают до конца рабочего хода. Это вызывает увеличение нагрузки на резцы и приводит к неэффективному расходу энергии на срезание породы в конце рабочего хода резцов.

При дальнейшем анализе важно учитывать одну из особенностей каждой из траекторий – за один оборот фрезы резец совершает рабочий и холостой ход. Результаты аналитических исследований геометрии образующей стружки в различных зонах контакта зубков фрез с забоем показали, что в периферийной зоне, а также в зоне выходов зубков в центральную часть образуются сектора с тонкой стружкой. Так как в центральной зоне ее длина небольшая, она не оказывает существенного влияния на эффективность работы комбайна. Наоборот, периферийная зона имеет длину по окружности порядка 4,5...5 м.

Наиболее эффективно резцы работают в плоскости, перпендикулярной плоскости забоя, проходящей через ось вращения фрезы, т.к. имеют максимальное заглубление. При изменении отношения частот вращения фрез и водила изменяется и толщина стружки.

С целью устранения образования периферийного сектора с тонкой стружкой разработана конструкция планетарного ИО (Патент РФ № 9284 от 15.03.2013), в котором каждая рукоять снабжена дополнительными резцами, установленными в резцедержателях, закрепленных на рукояти, с возможностью осуществления опережающего снятия слоя породы по контуру внешних траекторий резцов режущих дисков, при этом режущие кромки дополнительных резцов расположены в плоскости, перпендикулярной осям переносного вращения рукоятей с режущими дисками.

Положительный результат разработки заключается в том, что зубки, установленные на рукоятях в фронтальных плоскостях, за счет переносного вращения рукояти находятся в постоянном контакте с обрабатываемым забоем, снимая стружку толщиной 7...12 мм опережающим темпом по отношению к зубкам, закрепленным на дисках.

В этом случае форма забоя по периферии имеют ступенчатый вид, что исключает образование большого объема руды мелкой и пылевидной фракций в отбитой руде, а также существенно снижает удельные затраты энергии на фрезерование, которое имеет место при резании тонких пластов и приводит к интенсивному износу твердосплавных сердечников.

К дальнейшему исследованию предложены четыре варианта компоновки зубков на рукоятях для фрезерования периферийной зоны. В них используются от двух до пяти зубков двух типов: Дб.22 и ШБМ2С, которые массово изготавливаются на литейно-механическом заводе «Универсал» (г. Солигорск) для использования на проходческих комбайнах ОАО «Беларуськалий». Оптимизацию этих схем планируется осуществить в процессе испытаний комбайна.

Техническая характеристика планетарного исполнительного органа

Диаметр дисков по режущим кромкам зубков, мм.....	1040
Частота вращения дисков ($n_{\phi} = 41,6$ об/мин), c^{-1}	4,71
Скорость фрезерования зубков на дисках, м/с.....	2,45
Толщина среза зубками на дисках, мм.....	5...25
Диаметр окружности периферийной зоны, мм.....	1150...1300
Частота вращения рукоятей ($n_p = 4,83$ об/мин), c^{-1}	0,51
Скорость фрезерования зубков на рукоятях, м/с.....	0,66
Толщина среза зубками на рукоятях.....	7...12
Отношение угловых скоростей фрезы и рукояти.....	9,2
Отношение скоростей фрезерования (фреза/рукоять).....	3,7
Скорость подачи комбайна на забой, м/с.....	0,01...0,02

Технический результат по второй разработке (Положительное решение по заявке № и20131072 от 13.03.2014) достигается тем, что в приводе спаренного планетарного ИО проходческо-очистного комбайна каждая из осей вращения раздаточных редукторов с рукоятями и режущими дисками левого и правого исполнительного органа расположена под острым углом относительно продольной оси комбайна в направлении от его продольной оси к левому и правому бортам, а распределительный редуктор переносного вращения левого и правого исполнительного органа выполнен в виде двойной конической передачи, что обеспечивает более интенсивное фрезерование режущими дисками краевых зон и существенно уменьшает площадь средней зоны забоя, обрабатываемой одновременно левым и правым исполнительным органом.

Относительное вращение четырех режущих дисков обеспечивается от двух электродвигателей мощностью по 132 кВт через планетарные передачи, внутренние валы в редукторах переносного движения, конические распределительные редукторы и редукторы, расположенные в корпусах рукоятей.

Переносное вращение рукоятей с режущими дисками левого и правого исполнительных органов происходит от электродвигателя (мощность 45 кВт) через двухступенчатую планетарную передачу, распределительную коническую передачу, левую и правую промежуточные цилиндрические передачи и на зубчатые венцы, установленные с помощью кулачковых управляемых муфт на полых валах, соединенных фланцами с корпусами распределительных редукторов.

В ходе анализа конструктивных параметров, спаренного ИО проходческо-очистного комбайна КПО-10,5 составлена система уравнений и разработан алгоритм расчета траектории резцов планетарно-дискового исполнительного органа как с перпендикулярно расположенными осями вращения режущих дисков по отношению к переносным вращениям рукоятей, так и с учетом угла «развала» левого и правого исполнительных органов. По нему составлена программа, позволяющая изображать в динамике данные траектории. В качестве исходных параметров выбраны радиусы по линиям реза инструмента и водила, а также отношение частот вращения рукояти и режущих дисков.

Анализ траекторий показывает, что при $\beta \leq 10^\circ$ обеспечивается фрезерование забоя по всей его площади зубками основного ИО, а также фронтальными фрезами, оформляющими кровлю и формирующими почву выработки. При больших углах ($10^\circ < \beta \leq 30^\circ$) происходит отделение породы в криволинейных секторах, расположенных по вертикальной оси симметрии машины, методом «подрубки», т.е. отделение части породы от массива без сплошного ее фрезерования.

Выводы

1. Выполнен анализ режимов фрезерования массива горной породы зубками спаренного планетарного ИО проходческо-очистного комбайна; Результаты фракционного исследования показали, что в отбитой руде доля мелкой фракции составляет 28,2 %, а пылевидной (менее 0,5 мм) – 8,2 %, что негативно влияет на работу систем и механизмов комбайна, а также создает большую нагрузку на работу пылеосадительной системы.

2. Разработана модель и обоснованы расчетные зависимости для описания траекторий режущих элементов планетарного ИО с перпендикулярными осями. В результате установлено, что в периферийной кольцевой зоне происходит разрушение массива с малой толщиной полосы фрезерования.

3. Разработаны две принципиально новые схемы модернизации спаренного планетарно-дискового ИО проходческо-очистного комбайна, обеспечивающие повышение эффективности фрезерования массива горной породы.

4. Применение дополнительных резцов, закрепленных на кронштейнах, закрепленных на рукоятях с возможностью осуществления опережающего снятия слоя породы по контуру внешних траекторий резцов режущих дисков обеспечивает более эффективное фрезерование забоя по внешнему контуру выработки.

5. Расположение осей вращения раздаточных редукторов с рукоятями и режущими дисками левого и правого ИО под острым углом относительно продольной оси комбайна обеспечивает более интенсивное фрезерование режущими дисками краевых зон и существенно уменьшает площадь средней зоны забоя, обрабатываемой одновременно левым и правым исполнительным органом.

Список литературы

1. Морев, А.Б., Смычник А.Д., Казаченко Г.В. Горные машины для калийных рудников. Минск: Интерполиграф, 2009. 544 с.

2. Лоскутов Л.А., Шишлянников Д.И. Совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал» // 4-я МНПК молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее»: материалы конференции. Тула: ТулГУ, 2014. С. 23 – 28.

Басалай Григорий Антонович, ассист., galina_stas@mail.ru, Республика Беларусь, Минск, Белорусский национальный технический университет

IMPROVING PERFORMANCE PLANETARY-DISK EXECUTIVE BODY TUNNELING-SHEARERS

G.A. Basalai

The results of the study to assess the effectiveness of Fraser-tion array rock teeth planetary disk executive heading-and-shearer and development in its modernization are given.

Key words: solid rock, heading-and-shearer, excavation, cutting disc, the executive body.

Reference

1. Morev, A.B., Smychnik A.D., Kazachenko G.V. Gornye mashiny dlja kalijnyh rudnikov. Minsk : Interpoligraf, 2009. 544 s.

2. Loskutov L.A., Shishljannikov D.I. Sovershenstvovanie ispol-nitel'nyh organov prohodchesko-ochistnyh kombajnov «Ural» // «Opyt proshlogo – vzgljad v budushhee» – 4-ja MNPK molodyh uchenyh i studen-tov. Materialy konferencii: TulGU, Tula. 2014. S. 23-28.

Basalai Gregory Antonovich, senior lecturer, galina_stas@mail.ru, Belarus, Minsk, Belarusian National Technical University