

УДК 622.232.83.054.522

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

Басалай Г.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

Выполнен анализ планетарных исполнительных органов (ИО) проходческих комбайнов. Представлены две принципиально новые схемы спаренного планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна: в первой – исполнительный орган оснащен дополнительными зубками на редукторах режущих дисков; во второй схеме предусмотрен угол поворота осей вращения рукоятей левого и правого ИО в переносном движении относительно продольной оси комбайна. Разработаны расчетные схемы и алгоритмы моделирования траекторий фрезерующих элементов.

Введение

Термин «планетарные исполнительные органы» носит условный характер, однако он хорошо отражает вид движения инструмента исполнительного органа. Это движение является результатом сложения двух вращательных движений подобно движению планет. Рабочий инструмент планетарных органов разрушения имеет сложную траекторию движения, являющуюся результатом сложения переносного движения и относительного движения [1-3]. Планетарные органы разрушения обладают рядом достоинств по сравнению с буровыми механизмами роторного типа, а именно:

- разрушают большие площади забоя относительно небольшим числом одновременно работающего инструмента;
- передают на каждый инструмент значительную мощность, что особенно важно при проведении выработок по породам с коэффициентом крепости $f < 6$;
- имеют относительно невысокую энергоемкость процесса разрушения по сравнению с другими типами исполнительных органов;
- требуют небольших осевых (напорных) усилий;
- имеют незначительный опрокидывающий реактивный момент.

Характерные недостатки планетарных исполнительных органов:

- сложная конструкция редуктора привода, особенно для многорежимных органов разрушения; большой рабочий путь инструмента за один оборот водила в плоских и сферических органах разрушения;
- сложность кинематических расчетов и правильного выбора параметров траекторий движения инструментов.

В зависимости от характера взаимодействия режущего инструмента с забоем планетарные исполнительные органы можно классифицировать по ряду признаков.

Основным признаком такой классификации является расположение осей относительного и переносного движений фрезерующих элементов.

Исполнительные органы с осями рабочих дисков, расположенными под некоторым углом, называются сферическими. Обрабатываемый ими забой имеет сферическую форму, а рабочие инструменты двигаются по циклоидальным кривым, лежащим на сфере.

Исполнительные органы, у которых угол расположения осей относительного и переносного вращения рабочих дисков равен 90° , называются кольцевыми и разделя-

ются на две подгруппы: планетарные исполнительные органы с перпендикулярными и наклонными осями.

Исполнительные органы с осями рабочих дисков, параллельными оси водила, называются плоскими, так как обрабатываемый ими забой имеет плоскую форму. Исполнительные органы комбинированного типа состоят из парных рабочих дисков, расположенных в плоскостях, перпендикулярных к забою, с осями вращения, параллельными забою, и рабочих дисков с осями вращения, перпендикулярными к забою.

Результаты исследований

На рудниках Старобинского месторождения калийных солей в технологическом процессе по добыче руды камерным способом, а также при проведении подготовительных выработок для очистных комплексов широко применяются проходческо-очистные комбайны Урал-10А (Копейский машиностроительный завод, Россия), а также КПО-10,5 (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь). Комбайн состоит из сдвоенного исполнительного органа планетарного типа, разрушающего забой двумя парами режцовых дисков, верхнего отбойного устройства, оформляющего кровлю выработки, и бермового органа с боковыми фрезами и шнеками, служащими для выравнивания почвы и подрезки углов выработки, гусеничного хода, осуществляющего перемещение комбайна на рабочих и маневровых режимах. Общий вид сдвоенного планетарного исполнительного органа, а также редукторов относительного и переносного вращения режущих дисков показаны на рисунке 1. Разрушение массива производится режцовыми дисками при их относительном и переносном движениях.

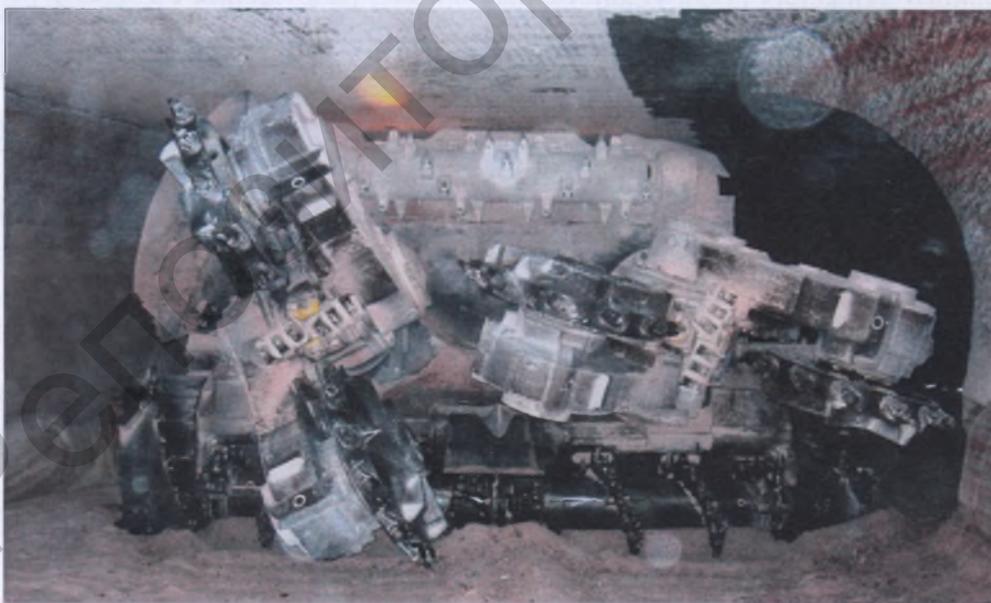


Рисунок 1 – Вид спереди (со стороны забоя) на спаренный исполнительный орган проходческо-очистного комбайна

Общий вид забоя представлен на рисунке 2.

Для подбора отбитой руды и передачи ее в транспортные средства служат: шнек, боковые фрезы и конвейер, выполненный в виде рамы комбайна, внутри которой размещена скребковая цепь.

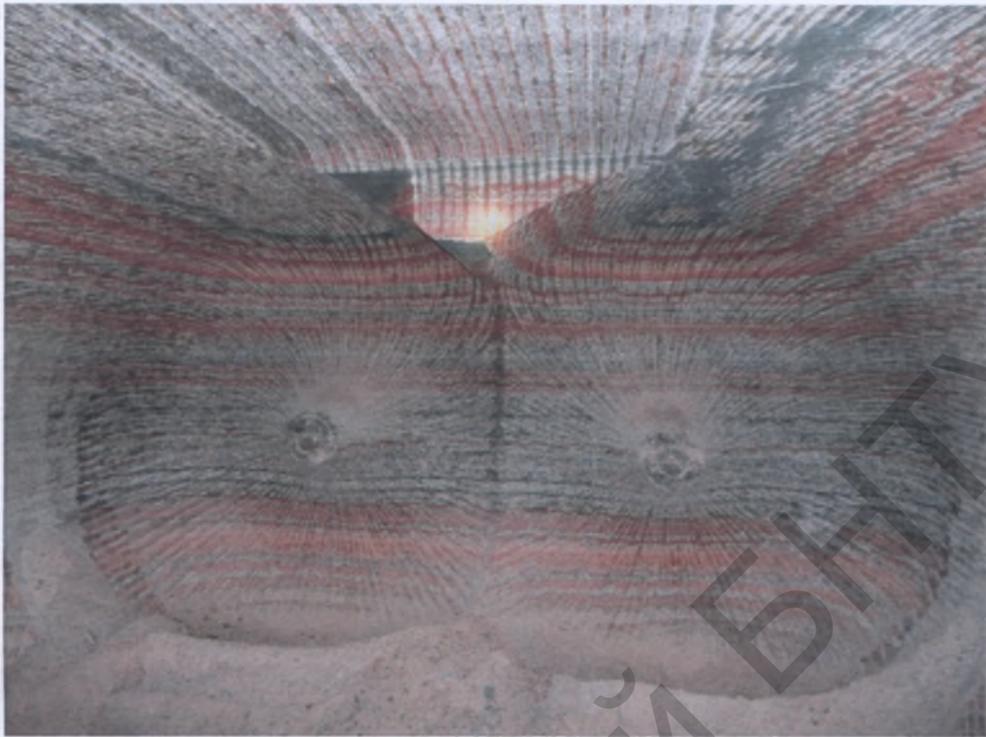


Рисунок 2 – Поперечное сечение выработки, проходимой комбайном со спаренным планетарно-дисковым исполнительным органом

Одним из основных рабочих механизмов комбайна являются две пары резовых дисков на левом и правом исполнительных органах. Резцы дисков совершают сложное движение, складывающееся из относительного (вращение резового 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 резовых дисков осуществляется за счет жесткой кинематической связи через общий привод переносного вращения. Эффективность их работы в значительной степени зависит от оптимальных режимов их эксплуатации.

Оптимизация режимов работы резов в зависимости от конкретных горно-геологических и горно-технических условий сопряжена со сложностью кинематических расчетов и правильностью выбора параметров траекторий движения инструмента. На основании ранее разработанных автором расчетных схем для анализа планетарно-дискового механизма с перпендикулярными осями проекции траекторий резов данного исполнительного органа на фронтальную и продольную плоскости можно представить системой параметрических уравнений:

$$x_M = a \cdot \sin(\omega_p \cdot t) + \frac{D}{2} \cdot \cos(\omega_\phi \cdot t) \cdot \sin(\omega_p \cdot t);$$

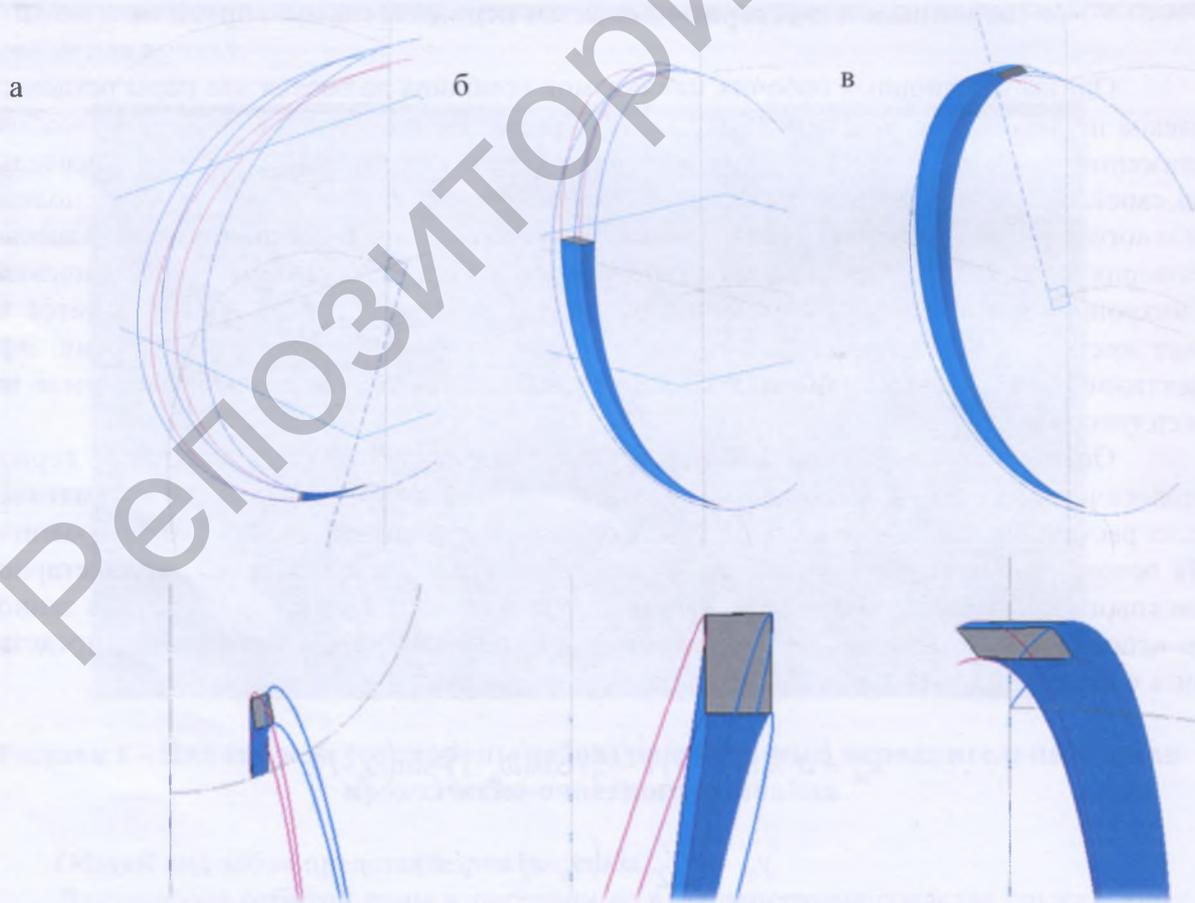
$$y_M = \frac{D}{2} \cdot \sin(\omega_\phi \cdot t) + w_k \cdot t;$$

$$z_M = a \cdot \cos(\omega_p \cdot t) + \frac{D}{2} \cdot \cos(\omega_\phi \cdot t) \cdot \cos(\omega_p \cdot t),$$

где a – расстояние между осью вращения рукояти и осью вращения каждой из фрез, м;
 ω_p – угловая скорость переносного вращения рукояти, c^{-1} ;
 t – текущее значение времени, с;
 D – диаметр фрезы по концам режущих кромок зубков, м;
 ω_ϕ – угловые скорости относительного вращения фрез, c^{-1} ;
 w_k – скорость подачи комбайна на забой, м/с.

Одной из важных особенностей планетарно-дисковых исполнительных органов с перпендикулярными осями является непостоянство толщины стружки срезаемой одним резцом. При различных значениях угловых скоростей фрез и ротора, шага расстановки резцов, скорости подачи комбайна толщина стружки, срезаемой одним резцом, может существенно изменяться за один оборот фрезы (диска).

Независимо от соотношения угловых скоростей, у планетарных ИО, как и у цилиндрических 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 (рисунок 3). Это является причиной повышенного пылеобразования при фрезеровании горной породы. Данная проблема актуальна для проходческо-очистных комбайнов, используемых на рудниках ОАО «Беларуськалий», но особенностью планетарных ИО является так же то, что с началом рабочего хода резца увеличивается не только его заглубление (т.е. 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.



а – в начале рабочего хода; б – в середине рабочего хода; в – в конце рабочего хода

Рисунок 3 – Сечение срезаемой стружки

С целью повышения эффективности фрезерования горной породы спаренным планетарно-дисковым исполнительным органом проходческо-очистного комбайна с участием автора разработаны две принципиально новые схемы.

Первая разработка [4], принципиальная схема которой представлена на рисунках 4 и 5, характеризуется дополнительными резами, установленными в резцодержателях на кронштейнах рукоятей. Привод планетарного ИО обеспечивает относительное и переносное вращения четырьмя режущими дисками 1. Он включает в себя три кинематические цепи. Первая и вторая цепи состоят из одинаковых элементов привода левого и правого ИО, последовательно соединенных между собой: электродвигатель 2, муфта 3, основной редуктор 4, промежуточный вал 5, раздаточный редуктор 6 с двумя рукоятями 7, каждая из которых снабжена режущим диском 1 с выходным валом, подвижно закрепленным посредством роликоподшипников на рукояти.

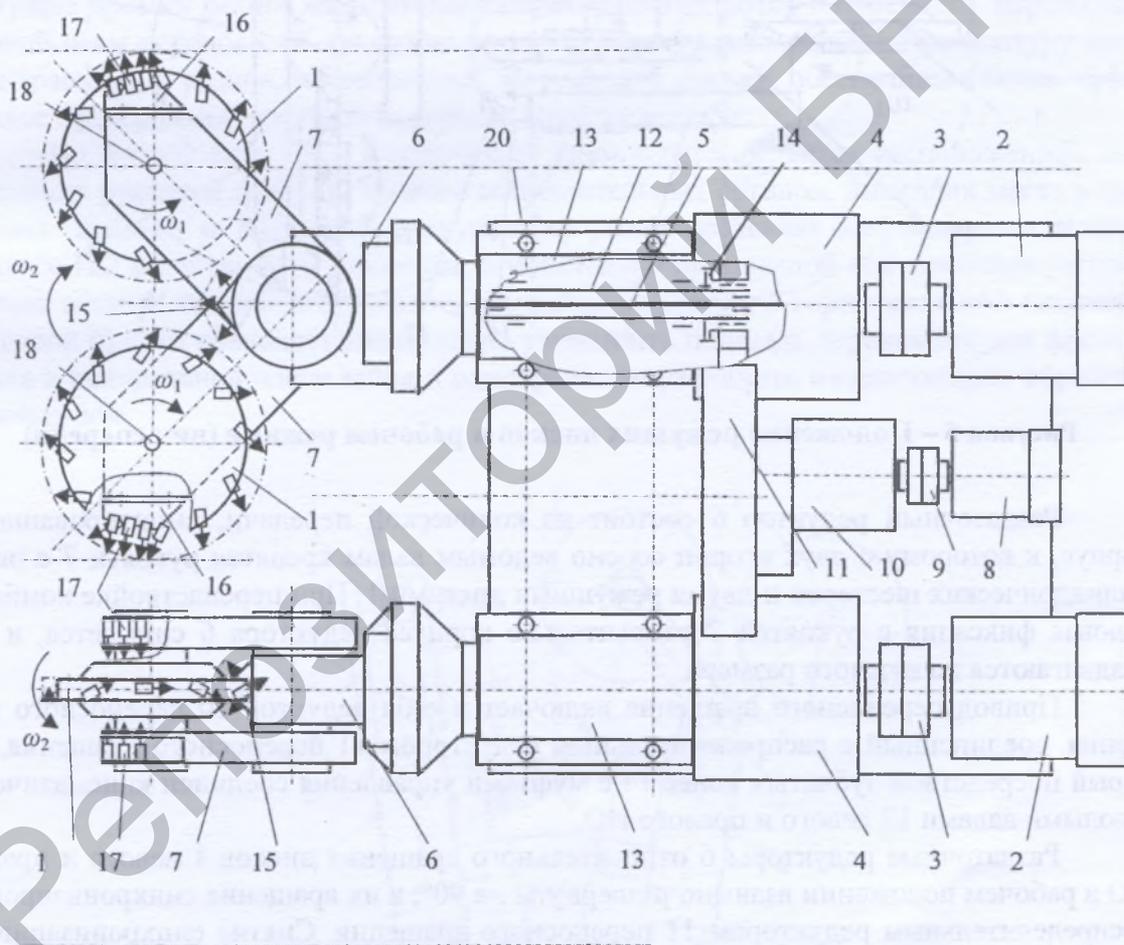


Рисунок 4 – Планетарный сдвоенный исполнительный орган проходческо-очистного комбайна (вид сверху)

Третья кинематическая цепь включает электродвигатель 8, муфту 9, редуктор 10 переносного вращения режущих дисков 1, распределительный редуктор 11 переносного вращения и полый вал 12. Промежуточные валы 5 и полые валы 12 установлены между собой соосно в опоре 13. На передних торцах полых валов 12 закреплены корпуса раздаточных редукторов 6. С другой стороны на полых валах 12 установлены свободно зубчатые колеса 14 с муфтами управления. На корпусах раздаточных редукторов 6 установлены забурники 15 с резами. На рукоятях 7 режущих дисков 1 закреплены

кронштейны 16, на свободных концах которых закреплены резцодержатели с дополнительными резцами 17, с возможностью осуществления опережающего снятия слоя породы по контуру внешних траекторий резцов режущих дисков. При этом режущие кромки дополнительных резцов 17 расположены в плоскости, перпендикулярной осям 18 переносного вращения рукоятей с режущими дисками.

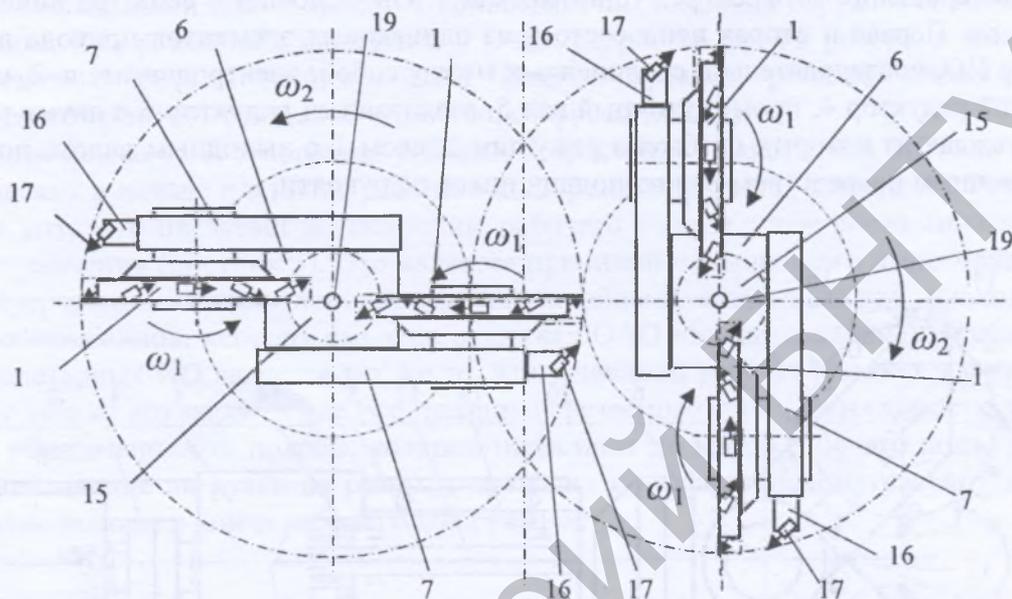


Рисунок 5 – Положение режущих дисков в рабочем режиме (вид спереди)

Раздаточный редуктор 6 состоит из конической передачи, вмонтированной в корпус, к которому с двух сторон соосно ведомым валам крепятся рукояти 7 с рядом цилиндрических шестерен и двумя режущими дисками 1. При перенастройке комбайна угловая фиксация с рукоятей 7 относительно корпуса редуктора 6 снимается, и они раздвигаются до нужного размера.

Привод переносного вращения включает в себя редуктор 10 переносного вращения, соединенный с распределительным редуктором 11 переносного вращения, который посредством зубчатых колес 14 с муфтами управления соединен кинематически с полыми валами 12 левого и правого ИО.

Раздаточные редукторы 6 относительного вращения дисков 1 левого и правого ИО в рабочем положении взаимно развернуты на 90° , а их вращение синхронизировано распределительным редуктором 11 переносного вращения. Снятие синхронизации переносного вращения, что необходимо при холостом перегоне комбайна по горной выработке, обеспечивается муфтами управления зубчатых колес 14.

Основные редукторы 4 с двигателями 2, а также редуктор 10 переносного вращения с двигателем 8 и распределительный редуктор 11 левого и правого ИО крепятся к платформе 20. Она представляет собой металлоконструкцию, на которой крепятся исполнительный орган, отбойное устройство и часть сборочных единиц щита ограждения. Платформа имеет две пары проушин, одной из которых она крепится к раме грузчика, а второй – устанавливается на гидроцилиндры для подъема-опускания планетарного исполнительного органа.

Резцы каждого из четырех режущих дисков 1 совершают сложное движение, складывающееся из относительного ω_1 (вращение резовых дисков 1 относительно своих осей 18) и переносного ω_2 (парное вращение дисков 1 вместе с раздаточными редукторами 6 относительно осей 19 основных редукторов 4 левого и правого ИО) движений. Дополнительные резцы 17, установленные в резцодержателях на кронштейнах 16 рукоятей 7, совершают круговое движение с угловыми скоростями ω_2 , равными угловым скоростям ω_2 переносного вращения режущих дисков 1. Направления угловых скоростей ω_1 относительного вращения дисков 1, на рукоятях 7, закрепленных парами на одном распределительном редукторе 6, а также направления угловых скоростей ω_2 осей 19 переносного вращения левого и правого ИО – встречные.

Применение дополнительных резцов, закрепленных на кронштейнах, которые установлены на рукоятях, с возможностью осуществления опережающего снятия слоя породы по контуру внешних траекторий резцов режущих дисков таким образом, что режущие кромки резцов на резцодержателях располагаются в плоскости, перпендикулярной осям переносного вращения рукоятей с режущими дисками, по контуру внешних траекторий резцов, закрепленных на режущих дисках, обеспечивает более эффективное фрезерование забоя по внешнему контуру выработки.

Во второй схеме [5], в отличие от схем с параллельным расположением осей вращения рукоятей левого и правого исполнительных органов, имеющих место в комбайнах Урал-10 и КПО-10,5, предусмотрен угол β «развала» осей вращения левого и правого ИО в переносном движении относительно продольной оси комбайна (относительно вектора скорости подачи w_k комбайна на забой) в горизонтальной плоскости (рисунок 6). Это позволяет значительно уменьшить площадь перекрытия зон фрезерования в центральной части забоя и одновременно увеличить интенсивность обработки краевых зон.

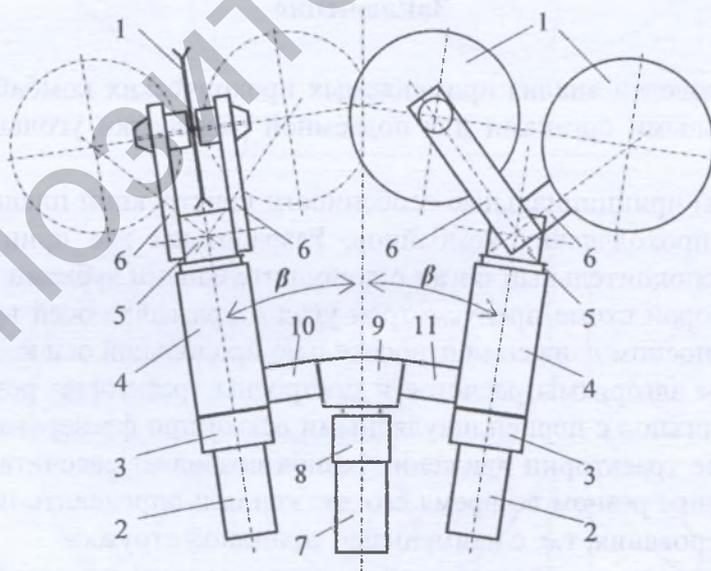


Рисунок 6 – Принципиальная схема спаренного планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна с непараллельными осями вращения рукоятей

Относительное вращение четырех режущих дисков 1 (рисунок 6) обеспечивается от двух электродвигателей 2 через планетарные передачи 3, внутренние валы в ре-

дукторах 4 переносного движения, конические распределительные редукторы 5 и редукторы, расположенные в корпусах рукоятей 6. Переносное вращение рукоятей 6 с режущими дисками 1 левого и правого исполнительных органов происходит от электродвигателя 7 через двухступенчатую планетарную передачу 8, распределительную коническую передачу 9, левую и правую промежуточные цилиндрические передачи 10 и 11 на зубчатые венцы, установленные с помощью кулачковых управляемых муфт на полых валах, соединенных фланцами с корпусами распределительных редукторов 5.

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

На рисунке 7 изображены расчетные траектории четырех зубков, закрепленных на четырех режущих дисках за время поворота рукоятей левого и правого ИО на 170° : а – при параллельном положении осей вращения рукоятей; б – при $\beta = 20^\circ$; в – при $\beta = 30^\circ$.

В частности, 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», то есть отделение части породы от массива без сплошного ее фрезерования.

Заключение

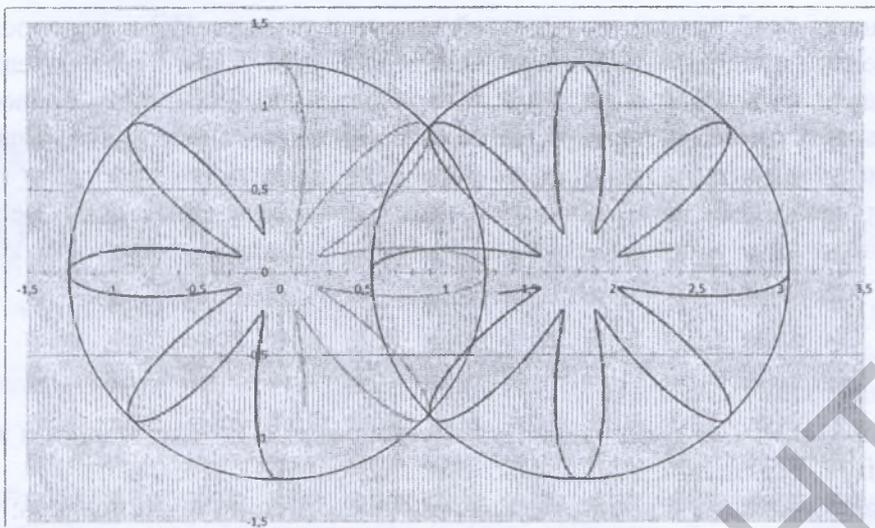
В работе проведен анализ применяемых проходческих комбайнов с планетарными исполнительными органами для подземной разработки угольных и калийных месторождений.

Рассмотрены принципиальные особенности конструкций планетарных исполнительных органов проходческих комбайнов. Разработаны две принципиально новые схемы: первая – исполнительный орган с дополнительными зубками на водилах режущих дисков; во второй схеме предусмотрен угол β «развала» осей вращения левого и правого ИО в переносном движении относительно продольной оси комбайна.

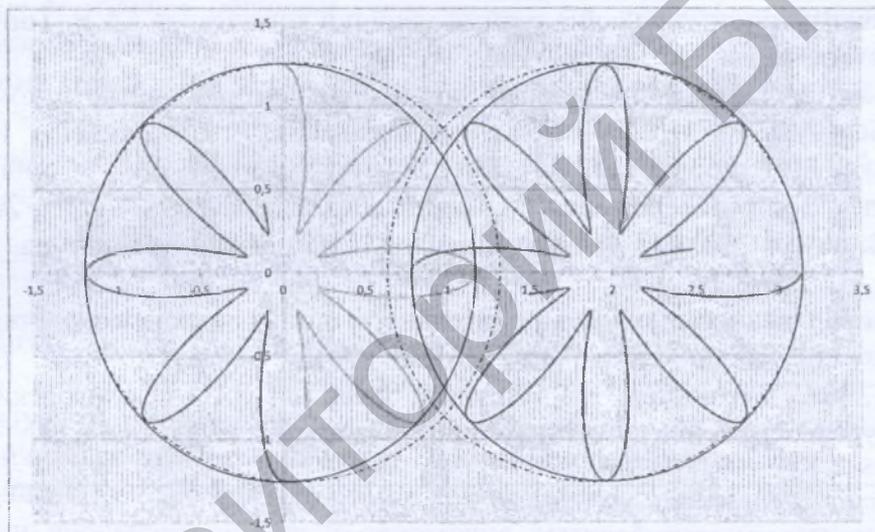
Разработаны алгоритмы расчетов и построены траектории резцов планетарных исполнительных органов с перпендикулярными осями при фрезеровании горной породы. Моделирование траектории движения резцов позволяет рассчитать толщину среза горной породы одним резцом во время его движения и определить наиболее неэффективные зоны фрезерования, т.е. с наименьшей толщиной стружки.

Применение дополнительных резцов, закрепленных на кронштейнах, которые установлены на рукоятях, с возможностью осуществления опережающего снятия слоя породы по контуру внешних траекторий резцов режущих дисков таким образом, что режущие кромки резцов на резцодержателях располагаются в плоскости, перпендикулярной осям переносного вращения рукоятей с режущими дисками, по контуру внешних траекторий резцов, закрепленных на режущих дисках, обеспечивает более эффективное фрезерование забоя по внешнему контуру выработки.

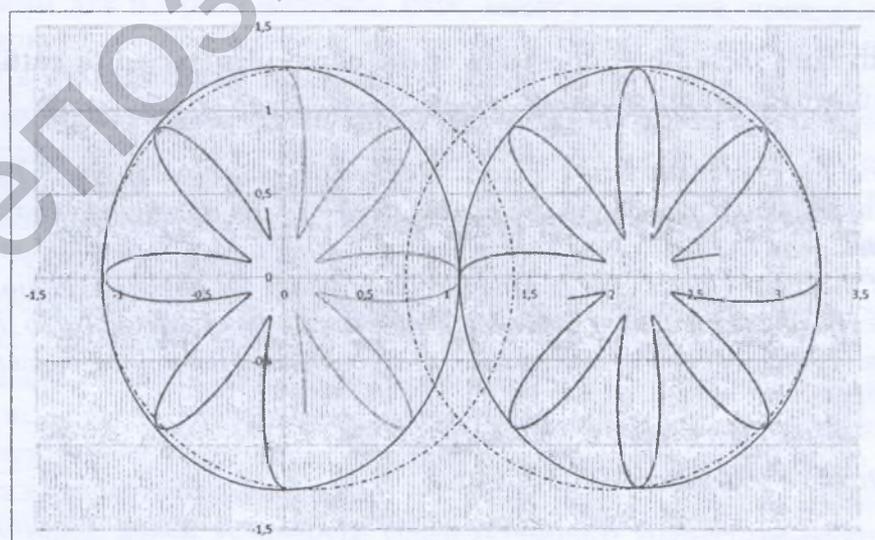
а



б



в



а – при параллельном положении осей вращения рукоятей левого и правого планетарных исполнительных органов; б – при $\beta = 20^\circ$; в – $\beta = 30^\circ$

Рисунок 7 – Траектории зубков четырех режущих дисков спаренного ИО

Установка осей вращения рукоятей левого и правого ИО в переносном движении относительно продольной оси комбайна под острым углом β относительно вектора скорости подачи w_k комбайна на забой в горизонтальной плоскости позволяет значительно уменьшить площадь перекрытия зон фрезерования в центральной части забоя и одновременно увеличить интенсивность обработки краевых зон.

Для проверки работоспособности и эффективности предложенных решений целесообразно изготовить экспериментальный образец изделия и провести комплексные испытания.

Список использованных источников

1. Солод, В.И. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов / В.И. Солод, В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек. – М.: Недра, 1982. – 350 с.
2. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: учебник для ВУЗов / Г.В. Малеев [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
3. Расчет и конструирование горных машин и комплексов / А.В. Топчиев [и др.]; под ред. А.В. Топчиева. – М.: Недра, 1971. – 278 с.
4. Планетарный исполнительный орган проходческо-очистного комбайна: пат. 9284 Респ. Беларусь, МКИ E21C31/04 / Г.А. Басалай, В.Я. Прушак, И.А. Конопляник, Г.В. Казаченко, М.С. Горностай, В.А. Степанович; заявитель ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством». – № u 20121148; заявл. 21.12.12; опубл. 30.06.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 205-206.
5. Привод планетарного исполнительного органа проходческо-очистного комбайна: заявка на изобретение № a20131328 Респ. Беларусь, МПК E21C31/04 / Г.А. Басалай, М.С. Горностай, В.Я. Прушак; заявитель ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»; заявл. 14.11.13.

Basalay G.A.

Effectiveness increase of operation of the pared planetary-disk cutting device of the mining-and-roadheading machine

The analysis of planetary cutting devices of heading machines is given. Two absolutely new circuits of the pared planetary-disk cutting device of the mining-and-roadheading machine are developed. The first circuit describes the cutting device with additional cutters on the carrier of the cutting discs. The second circuit provides the angle of rotation axes of the handles of the left and right cutting devices in transportation motion relative to the direct axis of the machine. Principle circuits and simulation algorithms of the milling elements' paths are stated.

Поступила в редакцию 03.03.2014 г.