

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УЗЛОВ КРЕПЛЕНИЯ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЧЕТЫРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ МЕЖДУ АКСИАЛЬНЫМИ КОРОНКАМИ

*А.А. Хорешок *,**, д.т.н., проф., Л.Е. Маметьев *, д.т.н., проф., А.Ю. Борисов *, ст. преп., А.В. Воробьев **, к.т.н., доц.*

**Кузбасский государственный технический университет,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. +7 (3842) 396940*

***Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

**** Институт угля Сибирского отделения РАН,
650065, г. Кемерово, пр-т, Ленинградский, 10, тел. +7 (3842) 452063*

E-mail: haa.omit@kuzstu.ru, bau.asp@rambler.ru, vorob@tpu.ru

Введение

Развитие технического прогресса на угольных шахтах, увеличение скорости подвигания фронта очистных работ, внедрение комплексной механизации и автоматизации технологических процессов добычи угля подземным способом выдвигают повышенные требования к техническому уровню проходческого оборудования, в том числе и с целью снижения удельных энергозатрат в процессе проведения горных выработок [1, 2]. Горно-геологические и горнотехнические условия проведения подготовительных выработок на угольных шахтах России весьма разнообразны и изменяются не только в пределах одного региона, но и одной шахты. Различия в мощности и углах падения угольных пластов, способах вскрытия и нарезки шахтных полей, физико-механических свойствах вмещающих пород, глубине залегания, водообильности и газовыделении определяют многообразие типов поперечных сечений, технологий и средств механизации при проведении подготовительных выработок.

Опыт создания и эксплуатации стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия позволил выявить и сформулировать как преимущества, так и недостатки многочисленных технических решений и разработок, используемых в горном деле и подземном строительстве [3].

К основным преимуществам корончатых стреловидных исполнительных органов относятся:

- возможность реализации селективной выемки неоднородно-структурных забойных массивов, например, углепородных;
- обеспечение широкого спектра форм и сечений проводимых горных выработок, удобных для последующего крепления и прокладки жизнеобеспечивающих коммуникаций;
- расширение области применения проходческой техники на механизацию процессов добычи при камерно-столбовой технологии отработки угольных пластов;
- совмещение процессов разрушения и погрузки горных пород с различными физико-механическими свойствами;
- обеспечение обзорности разрушаемого забоя и призабойного рабочего пространства с улучшением режимов проведения технических осмотров, ремонтов при беспрепятственном отъезде из призабойного пространства;
- возможность взаимодействия с различными самоходными механизмами и машинами, как напольного, так и подвешенного монорельсового расположения при формировании проходческо-очистных механизированных комплексов;
- возможность реализации режимов бурения технологических скважин и образования боковых камер в бортах выработок, а также лунок под крепь и дренажных канавок.

К основным недостаткам проходческих комбайнов избирательного действия относятся:

- консольное расположение стреловидных исполнительных органов к базовому корпусу комбайна, создающее предпосылки к потере устойчивости на интенсивных режимах эксплуатации;
- резкое снижение производительности при переходе от угольных компонентов разрушения забоев к породным в проводимых горных выработках;
- высокая динамичность, вибрация, шум, запыленность рабочего пространства и низкий срок службы породоразрушающего инструмента, корпусов коронок, погрузочно-транспортующих элементов различных погрузочных устройств;
- низкая погрузочная способность в прибортовых пространствах;
- низкая эффективность дробления негабаритов в призабойном пространстве на почве выработки в зоне приемного стола питателя погрузочного устройства;

- повышенная опасность и аварийность при проходке горных выработок в неустойчивых самообрушающихся забойных массивах и плывунах;

- низкая эффективность режимов забуривания и зарубки в забойный массив коронками исполнительного органа на ширину поперечного захвата для очередного цикла проходки.

Исполнительные органы проходческих комбайнов избирательного действия с продольно-осевыми коронками более точно оконтуривают забой, не допуская значительных переборов породы и, механизуют такие операции, как проведение водосточных канавок, образование приямков для крепи и, по своей форме и размерам, лучше приспособлены к селективной выемке.

Исполнительные органы проходческих комбайнов избирательного действия с поперечно-осевыми коронками при доминировании горизонтальных перемещений характеризуются значительно более благоприятной силовой картиной нагружения с повышением устойчивости корпусных подсистем и электропривода подсистем привода, снижением динамической нагруженности элементов силовых подсистем, особенно при проведении выработок по крепким и структурно неоднородным породам.

Полный цикл обработки забоя арочной формы аксиальными коронками включает значительное количество последовательных операций: фронтальная зарубка; вертикальная зарубка; боковой рез. Возможна также схема обработки забоя вертикальными полосами.

Анализ процессов зарубки исполнительного органа показывает, что эти процессы могут быть реализованы путем: выдвигания стрелы на забой - фронтальная зарубка; подъема исполнительного органа - вертикальная зарубка вверх; опускания исполнительного органа - вертикальная зарубка вниз [4].

Основное преимущество исполнительных органов с поперечно-осевыми коронками по сравнению с продольно-осевыми коронками заключается в более благоприятной устойчивости комбайна при разрушении забойных массивов.

Основные недостатки исполнительного органа этого типа:

- ниже качество обработки забоя, чем при работе с продольно-осевой коронкой, что отрицательно сказывается на трудоемкости процесса крепления выработки и ее устойчивости;

- невозможность проведения водосточной канавки и ухудшение условий селективной выемки полезного ископаемого.

Таким образом, для обоих типов корончатых исполнительных органов основными недостатками являются: низкое качество поверхности и точности контура выработки, что отрицательно сказывается на возможности механизации процесса крепления.

Основным недостатком многочисленных исполнительных органов проходческих комбайнов с поперечно-осевыми исполнительными органами является низкая производительность процесса зарубки из-за наличия неразрушаемого целика забойного массива в межкорончатом пространстве (рис. 1, 2).

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева для повышения эффективности процесса зарубки исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия с поперечно-осевыми аксиальными коронками, разделенными друг от друга корпусом раздаточного редуктора, предложено в межкорончатой зоне размещать дисковые инструменты на четырехгранных призмах.

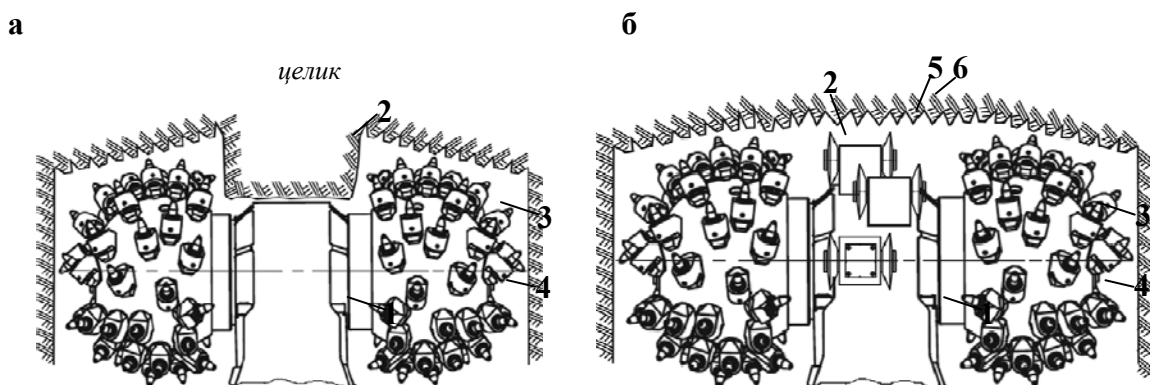


Рис. 1. Зарубка исполнительных органов: а – типового аналога; б – при использовании дисковых инструментов с четырехгранными призмами на раздаточном редукторе

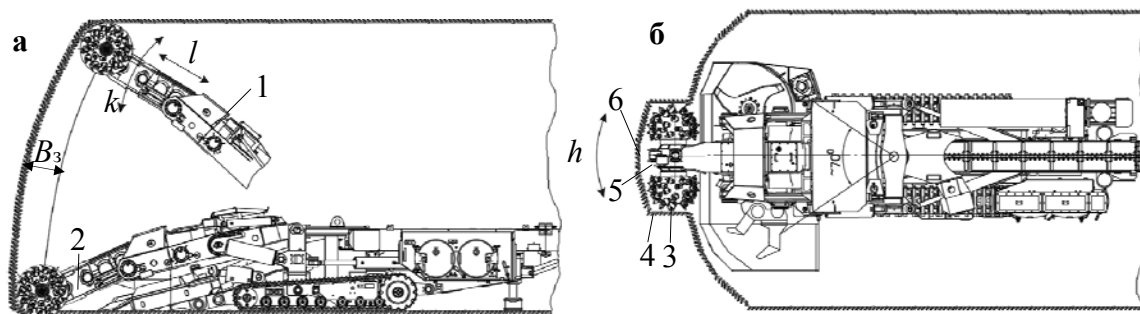


Рис. 2. Схема работы проходческого комбайна избирательного действия:
а – вид сбоку при зарубке; б – вид сверху после зарубки

На базе этой идеи разработаны технические решения [5–7], позволяющие повысить эффективность процесса зарубки исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия с аксиальными коронками, например П110, КП220.

В процессе зарубки (рис. 1, 2) стрела 1 исполнительного органа с раздаточным редуктором 2, аксиальными коронками 3, резами 4, четырехгранными призмами 5 с дисковыми инструментами 6 совершают вертикально-поворотные строгальные движения с одновременной телескопической раздвижностью на забой. При этом целик (рис. 1, а), который образуется при работе типовых исполнительных органов-аналогов, разрушается в межкорончатом пространстве дисковыми инструментами 6 на четырехгранных призмах 5 (рис. 1, б). Часть корпуса раздаточного редуктора 2 стрелы 1 обращена к поверхности забоя и выполнена в виде цилиндрического сектора, на наружной поверхности которого установлены в шахматном порядке четырехгранные призмы 5 с дисковыми инструментами 6, вписываясь в пространство разрыва между линиями резания, образованными крайними резами 4 со стороны больших оснований аксиальных коронок 3. При этом радиальный вылет клиновых режущих кромок дискового инструмента 6 не превышает радиальный вылет крайних резов 4 на больших основаниях аксиальных коронок 3. Это позволяет эффективно зарубаться на ширину захвата B_z (рис. 2, а) при движении стрелы 1 во время зарубки в вертикальной плоскости по стрелке k с телескопической раздвижностью по стрелке l . При ступенчатой обработке забоя аксиальными коронками 3 осуществляется поворотное движение стрелы 1 по стрелке h (рис. 2, б) в горизонтальной плоскости к правому или левому бортам выработки.

Совместно с кафедрой горно-шахтного оборудования ЮТИ ТПУ разработан порядок построения конечно-элементных моделей и расчет усилий нагружений P_z , P_y , P_x для дискового инструмента с узлами крепления на четырехгранных призмах, который был апробирован ранее в исследованиях реверсивных радиальных коронок с дисковым инструментом на трехгранных призмах [8, 9]. На рис. 3 представлена конечно-элементная модель четырехгранной призмы с дисковыми инструментами образующими дополнительную зону разрушения в межкорончатом пространстве исполнительного органа проходческого комбайна. За исходные условия для расчета параметров напряженного состояния были выбраны диапазоны характеристик разрушаемых забойных массивов: угольного ($\sigma_{сж} = 12,4; 13,5; 14,8$ МПа) и породного ($\sigma_{сж} = 51; 60,6; 78,9$ МПа). При моделировании использованы четыре варианта конструкций дискового инструмента диаметром $D = 160$ мм (три биконических с углами заострения: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$; $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и один конический $\varphi = 30^\circ$).

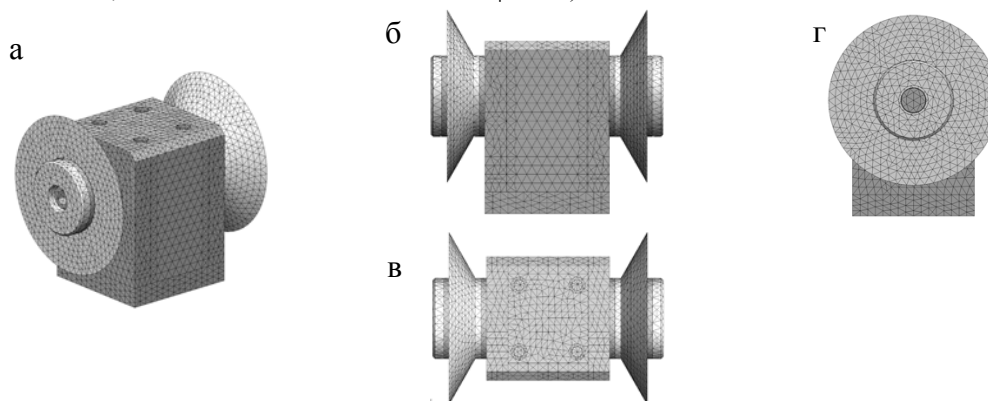


Рис. 3. Конечно-элементная модель четырехгранной призмы с дисковыми инструментами

Расчет проводился в системе SolidWorks Simulation. При создании сетки использовались параболические конечные элементы в форме тетраэдров. Размер конечных элементов выбирался таким образом, чтобы дальнейшее повышение плотности сетки не оказывало существенного влияния на результаты расчетов. Материал деталей – 35ХГСА, Ст. 45. Усилия резания P_z , внедрения P_y и бокового усилия P_x на дисковых инструментах определены с учетом конструктивных, режимных параметров и характеристик разрушаемого массива $\sigma_{сж}$. Расчетные усилия нагружения P_z , P_y , P_x прикладывались к конечно-элементным моделям (рис. 3) дисковых инструментов с узлами крепления в четырехгранных призмах для получения картины напряженно-деформированного состояния для биконических и конических дисковых инструментов (рис. 4).

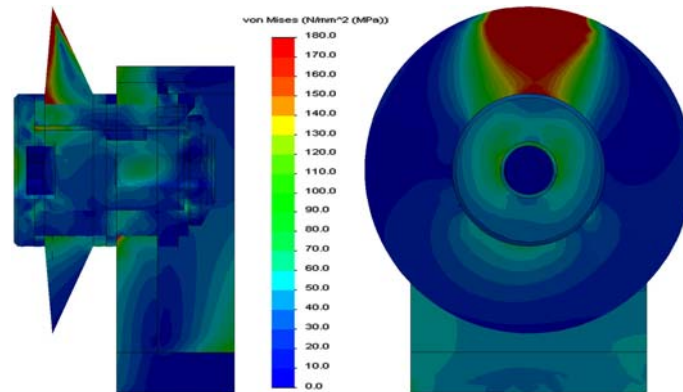


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узле крепления биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$) при разрушении породного массива $\sigma_{сж} = 78,9$ МПа

На базе основных конструктивных решений, изложенных в публикациях [5–7] предложено оригинальное техническое решение [10], включающее четырехгранные призмы со спаренными дисковыми инструментами, выполненные в виде единого сборно-разборного конструктивного блока с возможностью совместного свободного вращения относительно неподвижных цапф-втулок. Его реализация обеспечивает совместное вращение двух дисковых инструментов на каждой четырехгранной призме с уменьшением процесса их заклинивания и износа при зарубке стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна в горный массив.

Технические решения и результаты исследований получены в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки России по проекту № 632 “Исследование параметров технологий и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе”.

Заключение

Выявлено, что, при статическом нагружении всех рассмотренных вариантов узлов крепления дискового инструмента на четырехгранных призмах корпусов раздаточных редукторов исполнительных органов с аксиальными резцовыми коронками, картина распределения напряжений идентична с максимальным уровнем на периферии обода дискового инструмента в зоне контакта с разрушаемым массивом и постепенным снижением до минимального уровня в направлении приближения к цапф-втулке и оси с упорным буртиком.

Установлено, что минимальный уровень эквивалентных напряжений при разрушении как угольных ($\sigma_{сж} = 12,4; 13,5; 14,8$ МПа), так и породных ($\sigma_{сж} = 51; 60,6; 78,9$ МПа) забойных массивов обеспечен установкой на узлах крепления биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $\varphi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$ и $\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$), а максимальный уровень эквивалентных напряжений отмечен при использовании конического дискового инструмента ($\varphi = 30^\circ$).

Определено, что при изменении углов заострения в конструкциях биконического дискового инструмента от асимметричного ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $\varphi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$) до симметричного ($\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$) достигается снижение расчетного уровня максимальных эквивалентных напряжений у последних для всех вариантов нагружения.

Доказано, что при статическом моделировании по методу конечных элементов процессов разрушения углеродных забойных массивов в диапазоне предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 12,4 \div 78,9$ МПа показатели напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов дискового

инструмента с узлами крепления по всем техническим решениям обеспечивают гарантированный запас прочности для принятых марок сталей (35ХГСА, Ст. 45).

Рекомендована комбинированная схема набора дискового инструмента на корпусе раздаточного редуктора между аксиальными коронками исполнительного органа проходческого комбайна с размещением конических дисков в центральной зоне, а биконических дисков в остальных зонах по ширине межкорончатого пространства.

Литература.

1. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face / V.V. Aksenov, A.B. Efremkov, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 16-19.
2. Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine – GEO-WALKER / V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 20-23.
3. Улучшение разрушающе-погрузочной способности проходческого комбайна избирательного действия / Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Борисов А. Ю. // Научно-технический журнал «Горный инженер». – 2013. – № 1. – С. 102–110.
4. Перспективы создания проходческих комбайнов нового технического уровня
5. <http://library.stroit.ru/articles/combain2/index.html>
6. Пат. 136086 РФ : МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Цехин А.М. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013135402/03 ; заявл. 26.07.2013 ; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36. – 3 с.
7. Устройства для улучшения процессов зарубки исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 4. – С. 11–16.
8. Адаптация узлов крепления дискового инструмента исполнительных органов проходческих комбайнов к монтажу и демонтажу / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 7. – С. 3–8.
9. Совершенствование конструкций узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-в. – 2014. – № 1. – С. 3–5.
10. Разработка реверсивных коронок для проходческих комбайнов с дисковым инструментом на сменных трехгранных призмах / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков, А.В. Воробьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 40–44.
11. Пат. 146845 РФ : МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Дисковый инструмент проходческого комбайна / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014109201/03 ; заявл. 11.03.2014 ; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29. – 2 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА С ГЕОСРЕДОЙ

*В.Ю. Садовец******, к.т.н, доц., *В.В. Аксенов******, д.т.н., *В.Ю. Бегляков**, к.т.н, доц.

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,

***Институт угля СО РАН, г. Кемерово,*

****Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, 652055, Кемеровская область, г. Юрга, Ул. Ленинградская, 26. р.т. 8-(384-51)-6-05-37.*

E-mail: vsadovec@yandex.ru; begljakov@rambler.ru

Проведение горной выработки рядом авторов [1,2] рассматривается как процесс движения твердого тела в твердой среде. Данный подход лежит в основе геовинчестерной технологии проведения горных выработок, базовым функциональным элементом которой является геоход.

Для проходки подземных выработок на малых глубинах в неустойчивых породах с применением геохода для разрушения необходимо использовать ножевой исполнительный орган. Отсутствие