ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.232.83.054.52

А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В УЗЛАХ КРЕПЛЕНИЯ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА КОРОНКАХ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ

В настоящее время Кузнецкий угольный бассейн является основным угледобывающим регионом Российской Федерации, использующим при добыче угля и проходке горных выработок обширный парк очистных и проходческих комбайнов отечественного и зарубежного производства.

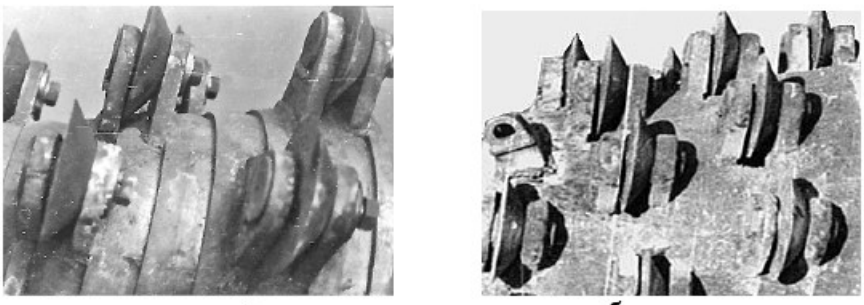
За последние десятилетия энерговооруженность горных комбайнов существенно возросла, в связи с этим на шахтах России и Кузнецкого угольного бассейна из года в год наращиваются объемы добычи угля, что невозможно обеспечить без роста темпов проведения подготовительных горных выработок. В качестве примера можно отметить рост объемов проходки выработок на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс" с 2006 по 2011 годы при использовании проходческих комбайнов избирательного действия со стреловидным исполнительным органом ГПКС, КП-21, П-110, СМ-130К, на которые ежегодно проходится 70–80 километров выработок по породам средней прочности (40–70 МПа) при наличии в пласте прослойков более высокой прочности [1].

Значительный рост энерговооруженности горных комбайнов вызвал необходимость разработки новых конструкций рабочих инструментов и их креплений, а также материалов и технологий для их изготовления, обоснования их рациональных параметров, позволяющих снизить удельные энергозатраты, повысить их прочность, износостойкость и обеспечить многоразовое их использование [2]. Кроме этого, при проходке горных выработок необходимо механизировать процессы разрушения, дробления негабаритов и своевременной погрузки разрушенного горного массива на транспортные средства. Это предъявляет повышенные требования к: износостойкости породоразрушающего инструмента и узлам его крепления; элементам транспортирования и погрузки продуктов разрушения в призабойной зоне; оперативной взаимозаменяемости основных функциональных элементов проходческих комбайнов избирательного действия при ремонтах в рабочем пространстве на месте их эксплуатации.

Для проведения горных выработок по углю и смешанному забою с крепкими и абразивными породными прослойками и отдельными включениями на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ были разработаны и испытаны в производственных условиях четыре экспериментальные коронки, которые включали дисковые инструменты и узлы их крепления различной конструкции (рис. 1, 2) [3].

Производственные исследования были реализованы при проведении выработок по рудным и угольным пластам с твердыми включениями и прослойками с пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ до 87 МПа и $\sigma_{сж}$ до 112 МПа. На базе производственных исследований среди всех четырех коронок удовлетворительную энергоемкость и расширенную область применения по прочности горных пород получила коронка четвертого типа, представленная на рис. 1, б.

На рис. 2, а представлен узел крепления, состоящий из двух кронштейнов 1, в которых



а б

Рис. 1. Общий вид узлов крепления дисковых инструментов на коронках проходческих комбайнов типа 1ГПКС: а – с коническими дисковыми инструментами; б – с биконическими дисковыми инструментами

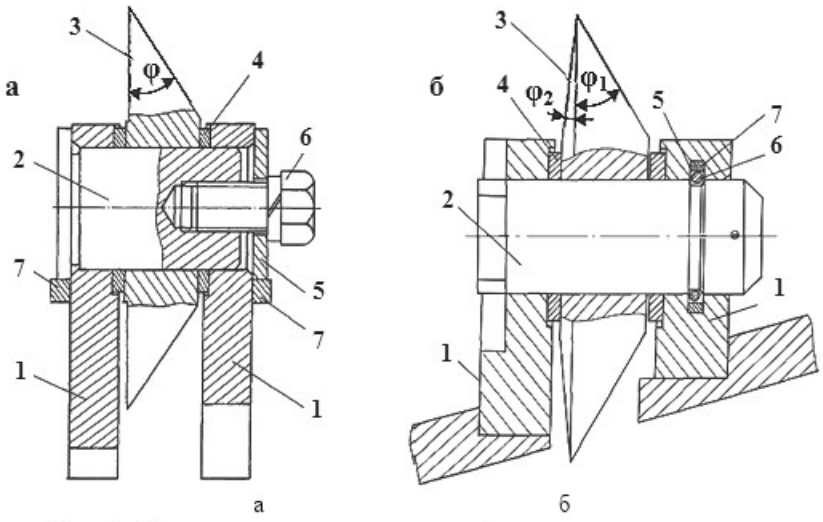


Рис. 2. Конструкции узлов крепления дисковых инструментов:
а – с коническим дисковым инструментом; б – с биконическим дисковым инструментом

на оси 2 закрепляется *конический* дисковый инструмент 3 с дистанционными кольцами 4. От осевого смещения ось 2 предохраняет крышка 5 и болт 6 с пружинной шайбой, а для предотвращения от проворачивания ось 2 удерживается ригелем 7.

На рис. 2, б представлен узел крепления, состоящий из двух кронштейнов 1, в которых на оси 2 закрепляется *биконический* дисковый инструмент 3 с дистанционными кольцами 4. Для фиксации оси 2 внутри правого кронштейна 1 расположен паз 5 с запорным кольцом 6 и резиновой прокладкой 7.

Одним из актуальных вопросов создания корончатых исполнительных органов в направлении расширения области применения на проходку горных выработок в забоях со сложной структурой горных пород является создание узлов крепления дискового инструмента и оценка их работы в широком спектре условий эксплуатации.

В связи с этим на кафедре горных машин и комплексов ФГБОУ ВПО «Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева» при поддержке кафедры горношахтного оборудования Юргинского технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «Национального исследовательского Томского политехнического университета» ведется научная работа, которая направлена на изучение конструкций узлов крепления дискового инструмента и оценки их работы в сложных условиях эксплуатации. Для проверки работоспособности рассмотренных конструкций (рис. 2, б) был проведен статический расчет на прочность с применением метода конечных элементов.

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. При описании условий взаимодействия деталей в сборке использовалось контактное условие “Нет проникновения”. Для закрепления узла при расчете применялись граничные условия “Зафиксированный”, приложенные к нижней грани опор.

Был проведен расчет усилий резания P_z, внедрения P_y и бокового P_x на дисковых инструментах по формулам (1, 2) с учетом конструктивных и режимных параметров, а также характеристик разрушаемого массива $\sigma_{сж}$. Полученные усилия P_z, P_y, P_x нагружения (табл. 1, рис. 3) были приложены к построенным моделям дисковых инструментов в узлах крепления, представленных на рис. 4–7:

– для условий $\sigma_{сж} \geq 50$ МПа с коническим дисковым инструментом:

$$\begin{aligned} P_z &= R\theta\sqrt{\rho}\sqrt{t_p}\cdot sin(0{,}9\theta)\cdot sin\,\varphi\cdot\sigma_{сж}\cdot 2;\\ P_y &= P_z\cdot ctg(k\theta);\\ P_x &= P_z\cdot\frac{c\lambda b}{Rsin(k\theta)}; \end{aligned} \qquad (1)$$

– для условий $\sigma_{сж} \geq 50$ МПа с биконическим дисковым инструментом:

$$\begin{aligned} P_z &= R\theta\sqrt{\rho}\sqrt{t_p}\cdot sin(0{,}9\theta)\frac{sin(\varphi_1+\varphi_2)}{cos\,\varphi_2}\cdot 2\sigma_{сж};\\ P_y &= P_z\cdot ctg(k\theta);\\ P_x &= P_z\cdot\frac{c\lambda b}{Rsin(k\theta)}, \end{aligned} \qquad (2)$$

где P_z, P_y, P_x – проекции вектора усилий $\overline{P}$ на оси декартовой системы координат O_z, O_y, O_x, соответственно, кН; R = 0,08 м – радиус дискового инструмента, м; $\theta = arccos((R–h)/R)$, рад; p = 0,0015 м – радиус кромки притупления дискового инструмента, м; t_p = 0,03 м – шаг разрушения, м; h = 0,006 м – глубина внедрения, м; b = 0,03 м – тол-

Таблица 1

Усилия, кН	Характеристики разрушаемого массива по $\sigma_{сж}$, МПа									
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Биконический дисковый инструмент $\varphi = \varphi_1+\varphi_2 = 25°+5° = 30°$										
P_z	2,06	2,48	2,89	3,3	3,72	4,13	4,54	4,96	5,37	5,78
P_y	6,4	7,7	8,97	10,26	11,54	12,82	14,1	15,39	16,67	17,95
P_x	2,52	3,03	3,53	4,04	4,54	5,05	5,6	6,06	6,57	7,07
Биконический дисковый инструмент $\varphi = \varphi_1+\varphi_2 = 20°+10° = 30°$										
P_z	2,09	2,58	2,92	3,34	3,76	4,18	4,6	5,01	5,43	5,85
P_y	6,48	7,78	9,08	10,37	11,67	12,97	14,27	15,56	16,86	18,16
P_x	2,55	3,06	3,57	4,09	4,6	5,11	5,62	6,13	6,64	7,15
Биконический дисковый инструмент $\varphi = \varphi_1+\varphi_2 = 15°+15° = 30°$										
P_z	2,13	2,57	2,98	3,41	3,83	4,26	4,68	5,11	5,54	5,96
P_y	6,61	7,93	9,26	10,58	11,9	13,22	14,55	15,87	17,19	18,51
P_x	2,6	3,12	3,64	4,17	4,69	5,21	5,73	6,25	6,77	7,29
Конический дисковый инструмент $\varphi = 30°$										
P_z	2,06	2,47	2,88	3,29	3,7	4,11	4,53	4,94	5,35	5,76
P_y	6,39	7,66	8,94	10,22	11,49	12,77	14,05	15,33	16,6	17,88
P_x	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03	5,53	6,04	6,54	7,05

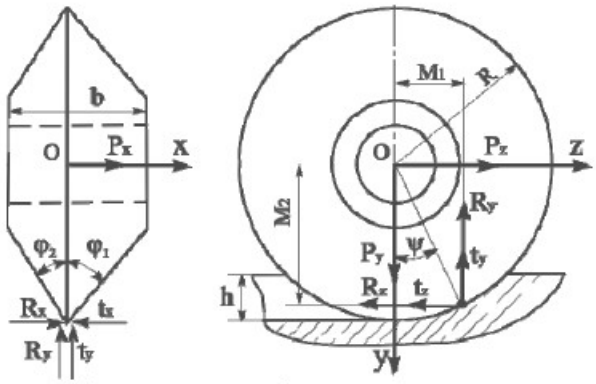
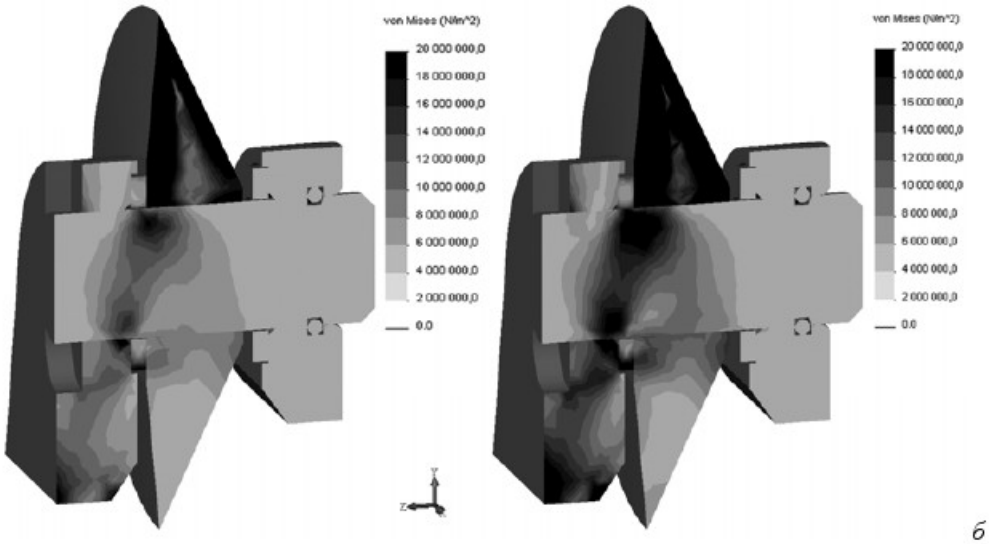


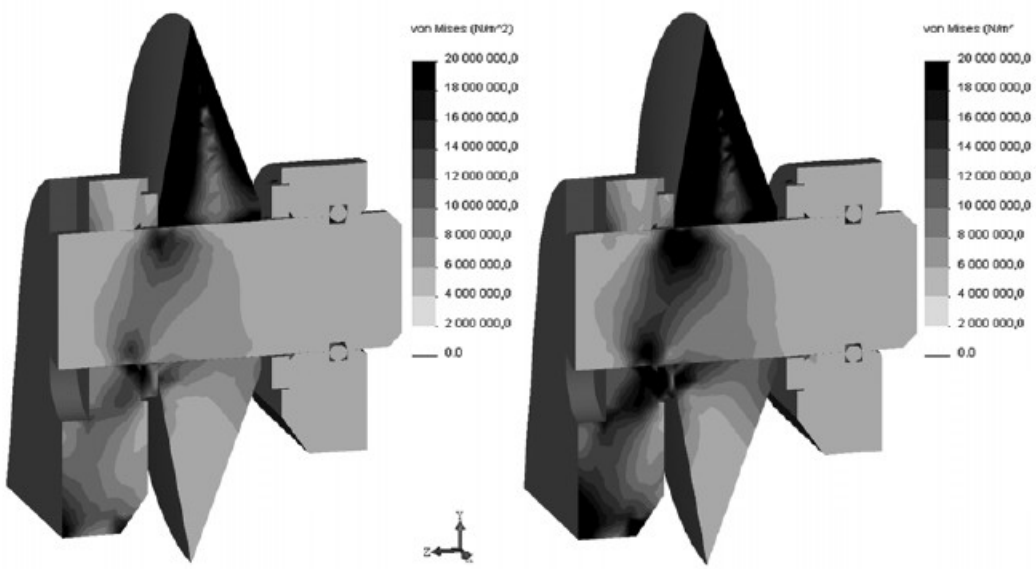
Рис. 3. Схема сил, действующих на дисковый инструмент в узле крепления



а *б*

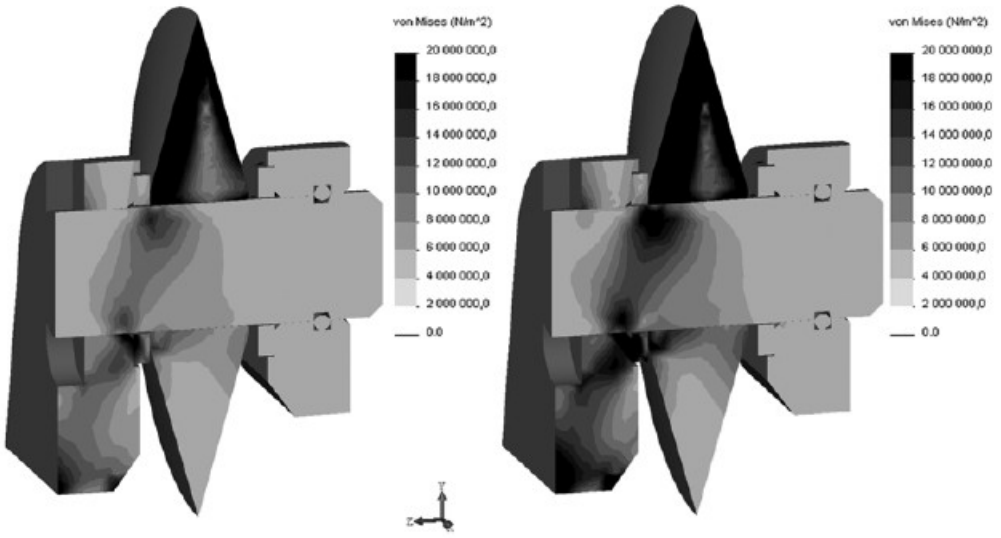
Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узлах крепления биконических дисковых инструментов ($\varphi = \varphi_1+\varphi_2 = 25°+5° = 30°$) с учетом характеристики разрушаемого массива: а – $\sigma_{сж}$ 70 МПа; б – $\sigma_{сж}$ 120 МПа

щина инструмента, м; φ_1, φ_2 – передний и задний углы заострения, град; $k = 0,8$ при $L > h$, $k = 0,5$ при $L = h$; L – высота обнаженной поверхности, м; $0 \le \lambda \le 1$ – в зависимости от вида реза; σ_p, $\sigma_{сж}$ – пределы прочности на одноосное растяжение и сжатие, МПа; $c = 1,0$ – блокированный и повторно-блокированный режим разрушения, $c = - 1,0$ – свободный и полусвободный режим разрушения.



а *б*

Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узлах крепления биконических дисковых инструментов ($\varphi = \varphi_1+\varphi_2 = 20°+10° = 30°$) с учетом характеристики разрушаемого массива: а – $\sigma_{сж}$ 70 МПа; б – $\sigma_{сж}$ 120 МПа



а *б*

Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узлах крепления биконических дисковых инструментов ($\varphi = \varphi_1+\varphi_2 = 15°+15° = 30°$) с учетом характеристики разрушаемого массива: а – $\sigma_{сж}$ 70 МПа; б – $\sigma_{сж}$ 120 МПа

Как следует из результатов расчетов (рис. 4–7), эквивалентные напряжения по критерию Мизеса в узлах крепления, в основном не превышают 20 МПа, что существенно ниже предела текучести для стали 35ХГСА. С переходом от асимметрии к симметрии биконических дисковых инструментов, прослеживается снижение параметров зон эквивалентных напряжений в неподвижной оси крепления. Для конического дискового инструмента параметры зон эквивалентных напряжений в неподвижной оси крепления прямо пропорционально связаны с прочностью забойного массива.

Изложенные выше результаты моделирования узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов позволили сформулировать требования к конструкции исполнительных органов с двумя радиально-осевыми коронками с повышенными функциональными возможностями по разрушению, дроблению и погрузке горной массы.

Для обоснования и выбора наиболее рационального варианта конструкции исполнительных органов с расширенными функциональными возможностями, были проведены патентные исследования, позволившие разработать принципиальные структурные схемы по использованию дискового инструмента, как наиболее адаптивного к реверсивным режимам работы при эксплуатации исполнительных органов горных машин (рис. 8–10).

Анализ результатов патентных исследований (рис. 8–10) позволил обосновать выбор нового направления в разработке унифицированной конструкции стрелового исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия с двумя радиальными коронками [4].

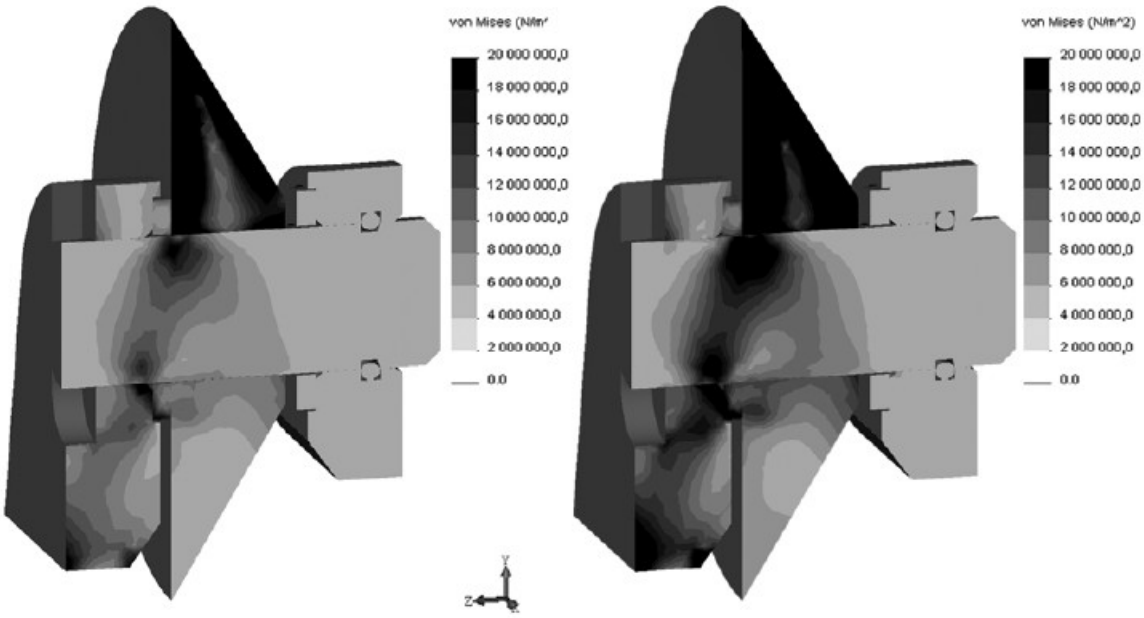
Основной научно-технический результат заключается в повышении эффективности проведения горных выработок путем совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки при проходке горных выработок.

При этом на наружных поверхностях корпусов каждой из разрушающе-погрузочных коронок 1 (рис. 11) установлены трехгранные призмы 2 с дисковыми инструментом 3, закрепленный на оси-цапфе 4.

Крепежная часть оси-цапфы 4 размещена внутри трехгранной призмы 2 и жестко прикреплена планкой-замком 5 к перегородке 6 болтами 7.

Поскольку модернизация корончатого исполнительного органа осуществляется путем использования трехгранных призм с консольным закреплением дискового инструмента на неподвижной оси с возможностью относительного вращения, то потребуется адаптация моделей напряженно-деформированного состояния к новым условиям конструктивного размещения и разрушения забойного массива.

Предлагаемая конструкция двухкорончатого исполнительного органа [4] может быть рекомендована в виде сменного конструктивного модуля к широкому парку отечественных и зарубежных



а *б*

Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узлах крепления конических дисковых инструментов (φ = 30°) с учетом характеристики разрушаемого массива: а – $\sigma_{сж}$ 70 МПа; б – $\sigma_{сж}$ 120 МПа

Рис. 8. Обзор технических решений по использованию дискового инструмента в горных машинах

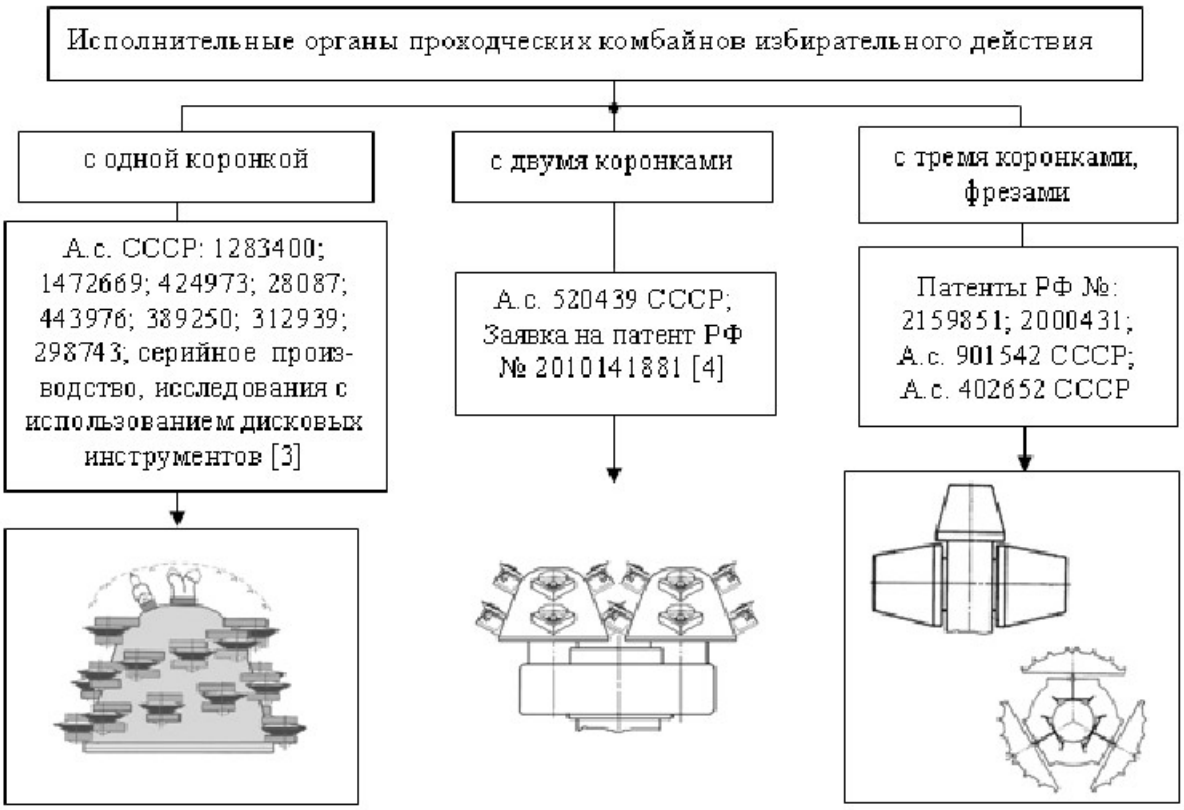


Рис. 9. Варианты компоновок корончатых исполнительных органов

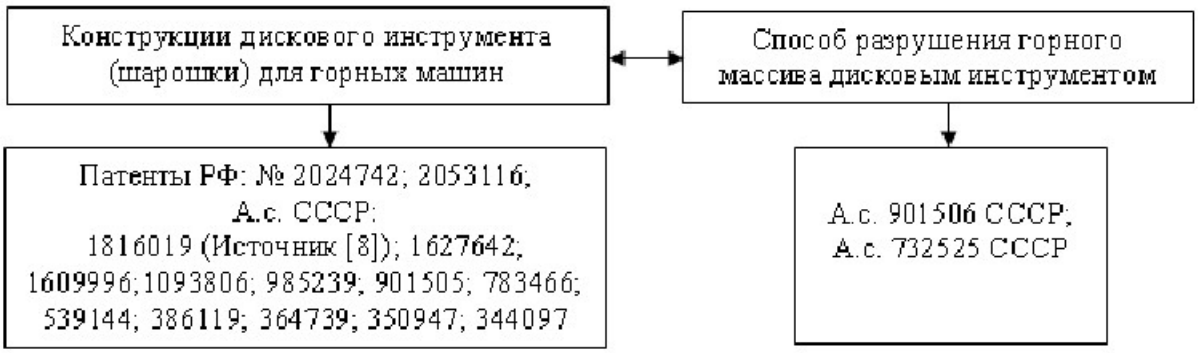


Рис. 10. Схема технической реализации процессов разрушения дисковым инструментом

проходческих комбайнов избирательного действия.

Анализ изложенных выше результатов моделирования режимов нагружения, проектирования узлов крепления дискового инструмента и промышленных испытаний при проходке выработок в забоях сложного структурного горного массива показал, что перспективным и актуальным представляется направление исследований по изучению напряженно-деформированного состояния дискового инструмента и элементов узлов крепления в трехгранной разрушающе-погрузочной призме с реализацией возможности дробления негабаритов в межкорончатом пространстве исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия.

Таким образом, актуальными и перспективными являются разработки, направленные на проектирование узлов крепления дисковых инструментов в трехгранных призмах, представляющих сменные конструктивные модули для радиальных разрушающе-погрузочных коронок стреловых исполнительных органов проходческих комбайнов.

При этом необходимо обеспечить повышение эффективности производства монтажно-демонтажных операций в призабойном пространстве подземной горной выработки в процессе замены узлов крепления дисковых инструментов в трехгранных призмах.

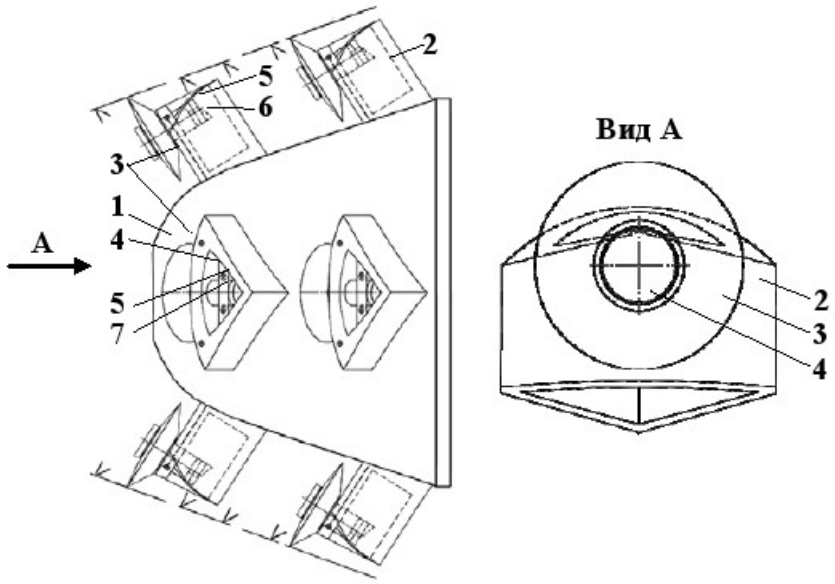


Рис. 11. Коронка с трехгранными призмами и дисковыми инструментами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нестеров, В.И.* Опыт эксплуатации проходческих комбайнов избирательного действия (на примере шахт ОАО "СУЭК-Кузбасс") / В.И. Нестеров, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике, В.В. Кузнецов, Ю.В. Дрозденко, С.Г. Мухортиков // Горная техника: добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник, 2012. – СПб.: Славутич. – С. 20–23.

2. *Прокопенко, С.А.* Применение инновационных комбайновых резцов в шахтах / С.А. Прокопенко, В.С. Лудзиш // Горная промышленность. – 2012. – № 1. – С. 56–60.

3. *Хорешок, А.А.* Перспективы применения дискового инструмента для коронок проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов // Вестник. КузГТУ, 2010. – № 1. – С. 52–54.

4. *Нестеров, В.И.* Исполнительный орган проходческого комбайна для совмещения процессов разрушения забоя с дроблением негабаритов и погрузкой горной массы / В.И. Нестеров, Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов // Вестник. КузГТУ. – 2012. – № 3. – С. 112–117.

5. *Плюм, Д.* Разработка конструкций шнеков и совершенствование шнековых комбайнов // Глюкауф. – 1987. – № 17. – С. 25–32.

6. *Раубер, М.* Современное состояние и развитие проходческой техники на шахте "Энсдорф" // Глюкауф. – 1985. – № 19. – С. 38–43.

7. *Пфанненштиль, Ф.* Состояние и тенденции развития комбайновой выемки // Глюкауф. – 1980. – № 7. – С. 5–12.

8. *Хоменко, В.А.* Модернизация инструмента для бурения вертикальных технических скважин большого диаметра / В.А. Хоменко, В.В. Хоменко // Горная промышленность. – 2009. – № 3. – С. 42–43.

9. *Сафохин, М.С.* Машины и инструмент для бурения скважин на угольных шахтах / М.С. Сафохин, И.Д. Богомолов, Н.М. Скорняков, А.М. Цехин. – М.: Недра, 1985. – 213 с.

10. *Герике, П.Б.* Совершенствование рабочих органов машин для поверхностного фрезерования полезных ископаемых: Монография / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2008. – 188 с.

□ Авторы статьи:

Хорешок
Алексей Алексеевич,
докт.техн.н.аук, профессор. зав. каф. горных машин. и комплексов КузГТУ.
E-mail: haa.omit@kuzstu.ru

Маметьев
Леонид Евгеньевич,
докт.техн.наук, профессор каф горных машин и комплексов. КузГТУ,
тел. 8(3842) 39-69-40

Борисов
Андрей Юрьевич,
ст. преподаватель. каф горных машин и комплексов. КузГТУ
E-mail: bau.asp@rambler.ru

Кузнецов
Владимир Всеволодович,
канд.техн.наук, доцент. каф горных машин и комплексов. КузГТУ,
тел. 8(3842) 39-69-40

Воробьев
Алексей Васильевич,
канд.техн.наук., доцент. каф. горно-шахтного оборудования (Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ). E-mail: vorob@tpu.ru