

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА С УЗЛАМИ  
КРЕПЛЕНИЯ НА ТРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ**

*А.А. Хорешок\**, *Л.Е. Маметьев\*\**, *А.Ю. Борисов\*\*\**, *А.В. Воробьев\*\*\*\**

*\*,\*\*,\*\*\* Кафедра горных машин и комплексов/Горный институт, КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, 650000, Россия*

*\*,\*\*\*\* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*\* Институт угля СО РАН, Кемерово, пр-т, Ленинградский, 10, 650065, Россия*

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

**Введение**

В ведущих горно-добывающих странах основными средствами механизации проведения горных выработок являются проходческие комбайны. Совершенствование исполнительных органов проходческих комбайнов стреловидного типа путем рационального сочетания и расположения на них режущего и дискового инструмента для реализации принципа разрушения угля и крепких горных пород крупным сколом является актуальной задачей.

Общеизвестно, что количественные показатели процесса разрушения механическим способом определяется физико-механическими свойствами разрушаемого забойного массива и условиями разрушения, включающими тип и геометрические параметры инструмента, параметрами разрушения, типом выемочной горной машины, ее энерговооруженностью, схемой размещения и особенностями перемещения в призабойном пространстве. При этом создатели выемочных горных машин, прежде всего, стремятся к достижению минимальных удельных энергозатрат и энергоемкости в процессе разрушения забоев различных горных выработок [1,2]. В последнее время энергоемкость процесса разрушения в равной степени влияет как на производительность работы горной машины, так и на расход электроэнергии, стоимость которой постоянно возрастает, что приводит к увеличению себестоимости единицы добытой горной массы. Это подчеркивает необходимость в разработке и совершенствовании конструктивных исполнений режуще-скалывающего инструмента с широкой областью применения и конкурентоспособным уровнем энергоемкости процессов разрушения как вязких углей, так и хрупких горных пород.

В современных выемочных горных машинах реализуется механический способ разрушения угольных и породных забойных массивов с использованием широкого конструктивного спектра горного инструмента. Привлекательность механических способов заключается в их технологичности, хорошей адаптации к горно-геологическим условиям, возможности локализации энергии, передаваемой массиву, и непрерывном контроле процессов. Авторы [3] утверждают, что разрушение горных пород резанием является энергетически выгодным процессом. Однако в абразивных породах средней и выше средней крепости этот метод является практически не приемлем, в связи с интенсивным износом рабочего инструмента, из-за невозможности передачи большой единичной мощности, потребной для разрушения массива. Поэтому область эффективного применения разрушения пород резанием ограничивается малоабразивными породами (менее 15 мг прочностью до 60 МПа).

Исследованиями [4, 5], проведенными в КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева доказана возможность и перспективность использования дисковых инструментов на исполнительных органах очистных и проходческих комбайнов.

Многообразие работы горного инструмента на проходческих комбайнах обуславливает необходимость в проведении исследований, направленных на выяснение функциональных возможностей и эффективности использования дисковых инструментов на рабочих органах в виде радиальных и аксиальных коронок [4–16].

Комплекс требований к конструкциям корончатых рабочих органов стреловидных проходческих комбайнов избирательного действия должен базироваться на учете взаимосвязи кинематических, силовых и конструктивных параметров узлов крепления дискового инструмента с физико-механическими свойствами и параметрами разрушения забойных массивов при обеспечении монтажно-демонтажных операций на месте эксплуатации.

Первый этап исследований [4], проведенный на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева позволил разработать радиальную коронку с двухпорным дисковым инструментом (рис. 1). Коронка состоит из следующих конструктивных элементов: 1 – корпус коронки; 2 – дисковый инструмент; 3 – резец; 4 – забурник; 5 – зарубной диск.

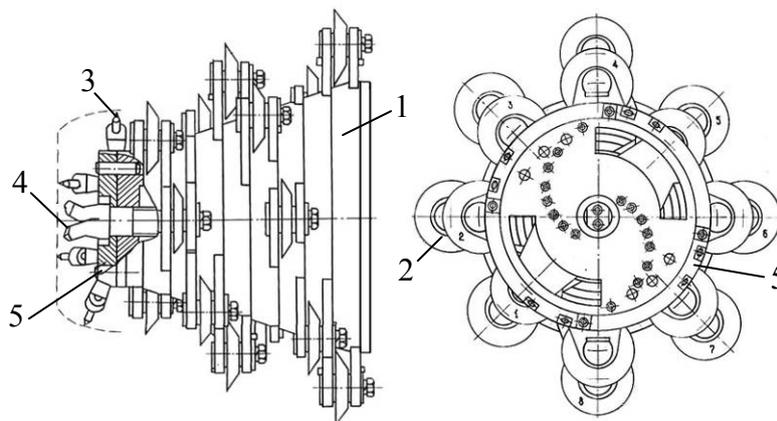


Рис. 1. Базовая конструкция коронки проходческого комбайна с дисковым инструментом

Эта базовая конструкция радиальной коронки проходческого комбайна с дисковым инструментом была испытана в производственных условиях при проведении выработок по рудным и угольным пластам с твердыми включениями и прослойками с пределом прочности на сжатие ( $\sigma_{сж}$  от 87 до 112 МПа) [4].

На рис. 2 представлена конечно-элементная модель двухопорного узла крепления дискового инструмента для базовой конструкции коронки проходческого комбайна для установления параметров напряженного состояния при учете характеристики разрушаемого массива  $\sigma_{сж} = 50 \div 140$  МПа [6]. 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  $\varphi = 30^\circ$ ).

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. 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. 2) дисковых инструментов в двухопорных узлах крепления, для получения картины напряженно-деформированного состояния для биконических и конических дисковых инструментов (рис. 3) [6, 7].

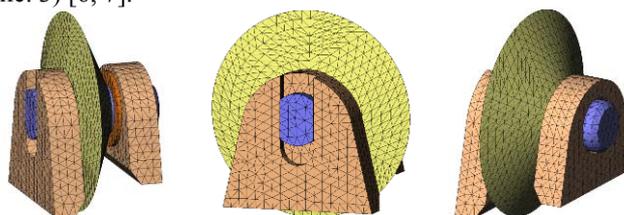


Рис. 2. Конечно-элементная модель двухопорного узла крепления дискового инструмента

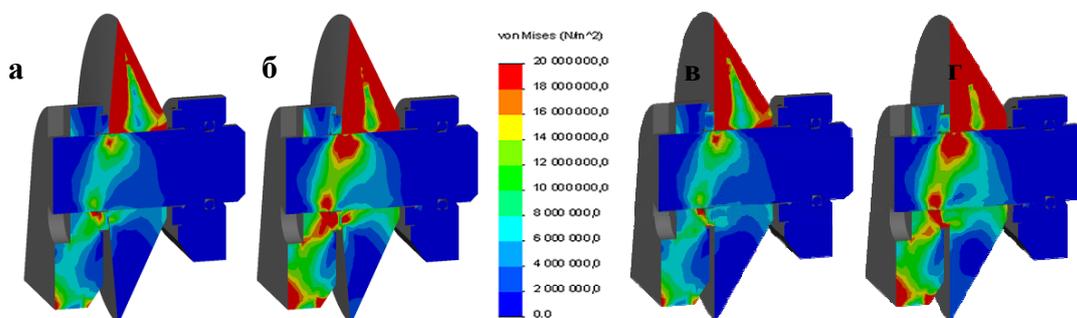


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в двухопорных узлах крепления: - биконического дискового инструмента ( $\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$ ) для условий: а –  $\sigma_{сж} = 70$  МПа; б –  $\sigma_{сж} = 120$  МПа; - конического дискового инструмента ( $\varphi = 30^\circ$ ) для условий: в –  $\sigma_{сж} = 70$  МПа; г –  $\sigma_{сж} = 120$  МПа

Основной недостаток базовой конструкции коронки проходческого комбайна, по результатам производственных испытаний, заключается в заштыбовке межопорных пространств узлов крепления дискового инструмента продуктами разрушения и их налипание на рабочие поверхности корпуса коронки, что снижает эффективность процессов разрушения и погрузки горной массы на стол питателя проходческого комбайна.

Для исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия предложено использовать дисковые инструменты на трехгранных призмах в конструкции реверсивных радиальных продольно-осевых коронок (рис. 4) [8–14].

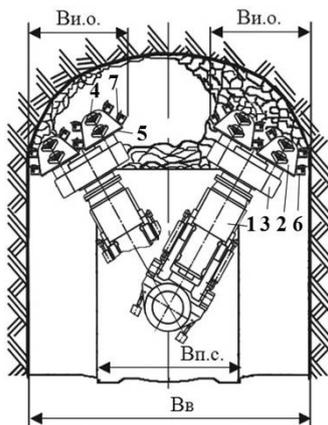


Рис. 4. Двухкорончатый исполнительный орган проходческого комбайна с дисковым инструментом на трехгранных призмах

Исполнительный орган проходческого комбайна (рис. 4) содержит стрелу 1, на которой установлены две разрушающе-погрузочные коронки 2, кинематически связанные между собой через редукторный редуктор 3. Каждая коронка 2 состоит из усеченных конусов или призм с малым основанием 4 и большим основанием 5, ступица которого прикреплена к выходному валу редуктора 3. К наружным поверхностям коронок прикреплены трехгранные призмы 6 с дисковыми инструментами 7. Кинематическая редукторная связь позволяет трехгранным призмам 6 коронок 2 при вращении создавать пространственные лабиринты и коридоры, обеспечивающие совмещение процессов разрушения, дробления и погрузки в пределах проектной ширины  $V_b$  проводимой выработки. С учетом прибортовой рабочей ширины исполнительного органа  $V_{и.о.}$  и ширины стола питателя погрузочного устройства проходческого комбайна  $V_{п.с.}$ .

В настоящее время на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева совместно с кафедрой горно-шахтного оборудования ЮТИ (филиал) НИ ТПУ ведутся исследования напряженно-деформированного состояния различных конструкций консольных узлов крепления дискового инструмента по методу конечных элементов. Результаты представлены на рис.5 и 6 [7, 15]

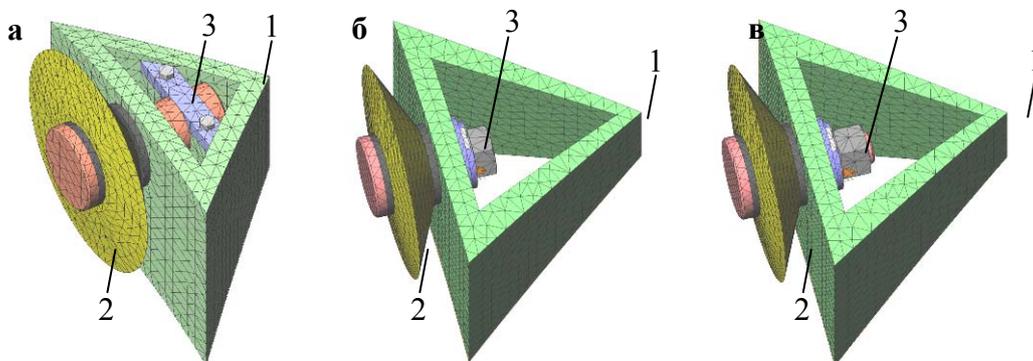


Рис. 5. Конечно-элементные модели трех вариантов узлов крепления дисковых инструментов: а – первый с планкой-замком; б – второй с крепежным винтом; в – третий с гайкой; 1 – трехгранная призма; 2 – дисковый инструмент; 3 – узел крепления

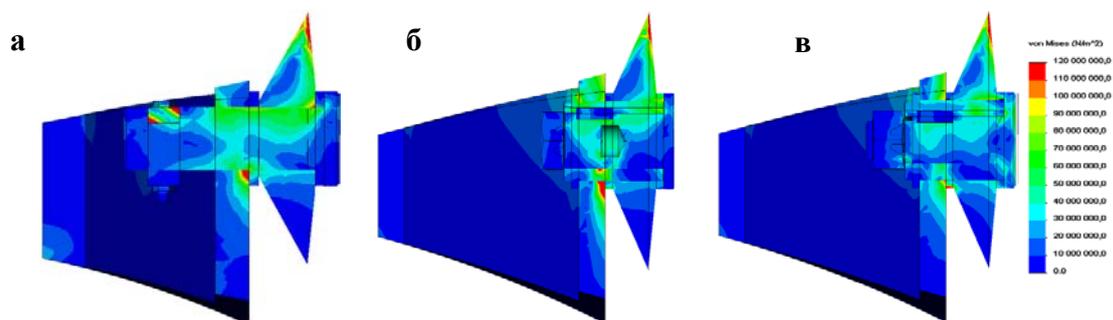


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса для трех вариантов узлов крепления дисковых инструментов с углом заострения  $\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$  в трехгранных призмах с учетом характеристики разрушаемого массива  $\sigma_{сж} = 70$  МПа: а – первый с планкой-замком; б – второй с крепежным винтом; в – третий с гайкой

Во всех конструктивных вариантах узлов крепления использованы биконические и конические дисковые инструменты. Порядок построения конечно-элементных моделей и расчет усилий нагружений  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  аналогичны описанным выше для двухопорных узлов крепления дискового инструмента. В качестве примера на рис. 6 представлены распределения эквивалентных напряжений по критерию Мизеса для трех вариантов узлов крепления дискового инструмента диаметром  $D = 160$  мм в трехгранных призмах.

Представленные технические решения консольных узлов крепления дискового инструмента на трехгранных призмах, с учетом результатов моделирования напряженно-деформированного состояния при разрушении забойных массивов, позволяют рекомендовать их для оснащения рабочих органов проходческих, очистных и буровых комбайнов.

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

Установлено, что эквивалентные напряжения по критерию Мизеса во всех конструктивных вариантах узлов крепления дискового инструмента радиальных коронок проходческих комбайнов существенно ниже предела текучести для стали 35ХГСА ( $\sigma_T = 490$  МПа). С переходом от асимметрии к симметрии биконических дисковых инструментов прослеживается снижение параметров зон эквивалентных напряжений в узлах крепления при общем увеличении максимальных напряжений с ростом прочности горных пород в широком диапазоне  $\sigma_{сж} = 50\text{--}120$  МПа.

Выявлено, что, дисковые инструменты конического ( $\varphi = 30^\circ$ ) и биконического исполнений ( $\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$ ) реализуют процесс разрушения с большими размерами зон максимальных эквивалентных напряжений и перемещений, чем варианты биконического исполнения ( $\varphi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$  и  $\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ ), а минимальные размеры зон эквивалентных напряжений и перемещений отмечены для биконического исполнения ( $\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ ).

Отмечено снижение размеров зон максимальных эквивалентных напряжений и перемещений на забойной грани трехгранной призмы, обращенной к забою в третьем варианте узла крепления дискового инструмента, по сравнению со вторым вариантом, что характеризует более высокую жесткость крепления гайкой.

Сформулированы требования к конструкциям исполнительных органов с двумя реверсивными радиально-осевыми коронками, базой для создания которых предложено использовать комплекс технических решений по узлам крепления дисковых инструментов в трехгранных призмах и результаты моделирования напряженно-деформированного состояния для расширения области применения проходческих комбайнов избирательного действия.

#### 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. Безвзрывные технологии открытой добычи полезных ископаемых / А. Р. Маттис [и др.]; отв. ред. В. Н. Опарин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела, Ин-т горного дела Севера; Урал. отд-ние, Ин-т горного дела. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 337 с.
4. Перспективы применения дискового инструмента для коронок проходческих комбайнов / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, В. В. Кузнецов, А. Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – Кемерово, 2010. – № 1. – С. 52–54.
5. Опыт эксплуатации рабочего инструмента исполнительных органов горных машин на шахтах Кузбасса / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, П.Д. Крестовоздвиженский // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 8–11.
6. Распределение напряжений в узлах крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2012. – № 6. – С. 34–40.
7. 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.
8. 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 // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2012. – № 3. – С. 112–117.
9. 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.
10. Пат. 2455486 РФ, МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Исполнительный орган проходческого комбайна / Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Кузнецов В.В., Мухортиков С.Г. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева" (КузГТУ). – № 2010141881/03 ; заявл. 12.10.2010 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19. – 14 с.
11. Пат. 128898 РФ : МПК Е 21 С 27/00 (2006.01). Узел крепления дискового инструмента в трехгранной призме / Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Мухортиков С.Г., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013100882/03 ; заявл. 09.01.2013 ; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. – 2 с.
12. Пат. 134586 РФ : МПК Е 21 С 27/00 (2006.01). Устройство для защиты внутреннего пространства трехгранной призмы от продуктов разрушения / 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). – № 2013127350/03 ; заявл. 14.06.2013 ; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32. – 2 с.
13. Пат. 138704 РФ : МПК Е 21 С 35/22, Е 21 F 5/04 (2006.01). Устройство пылеподавления для дискового инструмента на трехгранной призме / 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). – № 2013135405/03 ; заявл. 26.07.2013 ; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8. – 2 с.
14. Пат. 141339 РФ : МПК Е 21 С 27/00 (2006.01). Узел крепления дискового инструмента на рабочем органе горного комбайна / Маметьев Л.Е., Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014103560/03 ; заявл. 03.02.2014 ; опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15. – 3 с.
15. 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. унив. – 2014. – № 1. – С. 3–5.
16. 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.