

7. Y. Zhang, X. W. Wang, H. F. Liu, Numerical Simulation of Rock-Breaking Process by Disc Cutter in Tunnel Boring Machine, Applied Mechanics and Materials, 2014, Vol 487, pp. 513-516.
8. F. H. Li, Z. X. Cai, Y. L. Kang, A Theoretical Model for Estimating the Wear of the Disc Cutter, Applied Mechanics and Materials, 2011, Vols 90-93, pp. 2232-2236.
9. Z. L. Zhou, X. B. Li, G. Y. Zhao, Z. X. Liu, G. J. Xu, Excavation of High-Stressed Hard Rock with Roadheader, Applied Mechanics and Materials, 2011, Vols 52-54, pp. 905-908.
10. X. D. Wang, M. Q. Shi, S. J. Gao, Y. C. Guo, Design of Transverse Boom-Type Roadheader Remote Control System, Applied Mechanics and Materials, 2014, Vols 701-702, pp. 679-683.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ С ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПРОХОДЧЕСКИХ ЗАБОЕВ

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 имени Т.Ф. Горбачева
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

**, ** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: haa.omit@kuzstu.ru, bau.asp@rambler.ru, vorob@tpu.ru

При моделировании напряженного состояния конструкций трехгранных призм с узлами крепления по трем вариантам (рис. 1, а, б, в) и четырехгранных призм (рис. 1, г, д) использованы четыре конструкции дискового инструмента диаметром $D = 160$ мм (три биконических с углами заострения: $1 - \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 5^\circ + 25^\circ = 30^\circ$; $2 - 10^\circ + 20^\circ = 30^\circ$; $3 - 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и один конический $4 - \varphi = 0^\circ + 30^\circ$) [1–12]. Следует отметить, что угол заострения φ_1 биконического дискового инструмента обращен к поверхности обнажения забоя проходческой выработки.

Например, в табл. 1 и на рис. 2–4 представлены зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{эKB}}$ от диаметров D сопряженных конструктивных элементов узлов крепления дискового инструмента к трехгранным призмам для прогнозируемого разрушения забойного массива горных пород с $\sigma_{\text{сж}} = 70$ МПа. При этом сопрягаемыми конструктивными элементами в характерном сечении являются: - для первого варианта на рис. 1, а (1 – диск, 2 – ось-цапфа), - для второго и третьего вариантов на рис. 1, б, в (1 – диск, 2 – цапфа, 3 – ось с упорным буртиком).

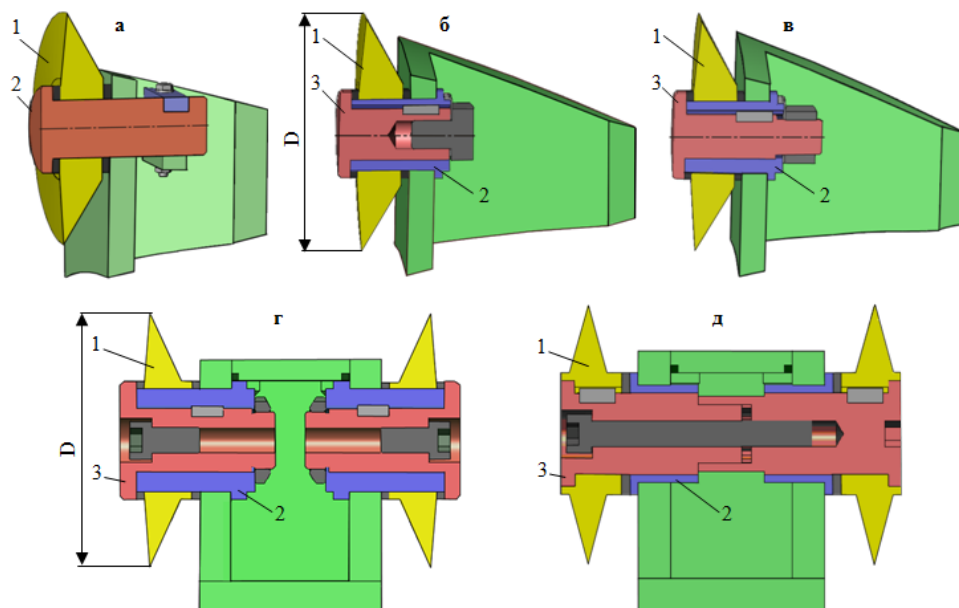


Рис. 1. Конструкции сопрягаемых элементов узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам: а – с планкой-замком [1], б – с винтом [2]; в – с гайкой [5]; г – с отдельными узлами крепления дисков [11]; д – со спаренными узлами крепления дисков [12]

На рис. 5–9 и в табл. 2 представлены картина и зависимости по распределению эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметров D сопряженных конструктивных элементов узлов крепления с раздельными дисковыми инструментами к четырехгранной призме (рис. 1, г) для прогнозируемого разрушения забойного массива: 1 – уголь ($\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа); 2 – порода ($\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа). При этом сопрягаемыми конструктивными элементами в характерном сечении являются: 1 – диск, 2 – цапфа, 3 – ось с упорным буртиком.

Таблица 1

Характер распределения эквивалентных напряжений при разрушении забоя
дисковым инструментом на трехгранных призмах коронок проходческих комбайнов

Варианты узлов крепления	Углы заострения дисков $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, град		Полиномиальные зависимости	Коэффициенты достоверности аппроксимации R^2
I	1	5°+25°	$\sigma_{\text{экв}} = -4E-10D^6 + 2E-07D^5 - 4E-05D^4 + 0,0036D^3 - 0,13D^2 + 2,1824D - 3,364$	0,9116
	2	10°+20°	$\sigma_{\text{экв}} = -2E-10D^6 + 1E-07D^5 - 3E-05D^4 + 0,0028D^3 - 0,1138D^2 + 1,8771D - 2,6505$	0,9
	3	15°+15°	$\sigma_{\text{экв}} = -4E-10D^6 + 2E-07D^5 - 5E-05D^4 + 0,0044D^3 - 0,1686D^2 + 2,5206D - 4,4542$	0,875
	4	0°+30°	$\sigma_{\text{экв}} = 2E-10D^6 - 1E-07D^5 + 2E-05D^4 - 0,0011D^3 + 0,0297D^2 + 0,0692D + 0,8159$	0,8987
II	1	5°+25°	$\sigma_{\text{экв}} = -1E-10D^6 + 8E-08D^5 - 2E-05D^4 + 0,002D^3 - 0,0932D^2 + 1,8159D - 3,217$	0,9143
	2	10°+20°	$\sigma_{\text{экв}} = 2E-10D^6 - 2E-08D^5 - 4E-06D^4 + 0,0011D^3 - 0,0686D^2 + 1,5676D - 2,8298$	0,8901
	3	15°+15°	$\sigma_{\text{экв}} = 5E-10D^6 - 2E-07D^5 + 2E-05D^4 - 0,0008D^3 - 0,0002D^2 + 0,6508D - 1,3489$	0,8752
	4	0°+30°	$\sigma_{\text{экв}} = 6E-10D^6 - 3E-07D^5 + 4E-05D^4 - 0,0031D^3 + 0,0984D^2 - 0,7694D + 2,4977$	0,9467
III	1	5°+25°	$\sigma_{\text{экв}} = -1E-10D^6 + 6E-08D^5 - 1E-05D^4 + 0,0014D^3 - 0,0648D^2 + 1,5159D - 3,3668$	0,9004
	2	10°+20°	$\sigma_{\text{экв}} = -3E-11D^6 + 6E-08D^5 - 2E-05D^4 + 0,0022D^3 - 0,1041D^2 + 2,0006D - 4,0917$	0,9003
	3	15°+15°	$\sigma_{\text{экв}} = 4E-10D^6 - 1E-07D^5 + 1E-05D^4 - 4E-05D^3 - 0,0253D^2 + 0,921D - 1,7204$	0,9011
	4	0°+30°	$\sigma_{\text{экв}} = -3E-10D^6 + 1E-07D^5 - 2E-05D^4 + 0,0012D^3 - 0,0291D^2 + 0,4971D + 0,2927$	0,8799

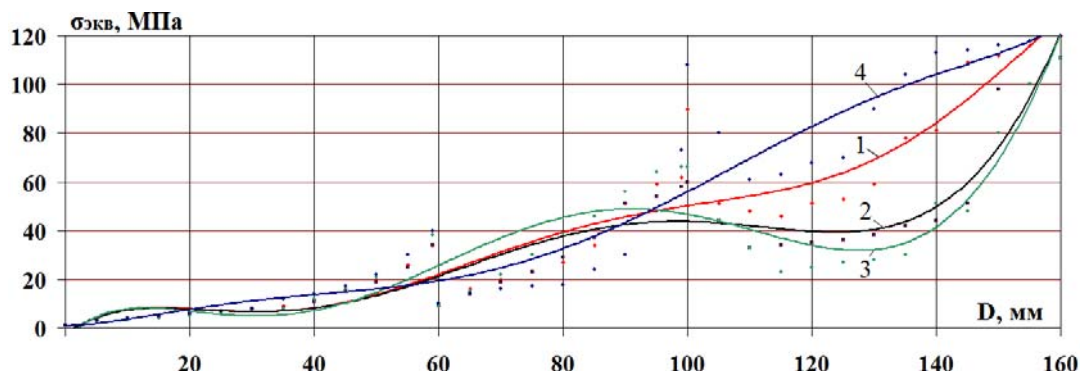


Рис. 2. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента для *первого варианта* узла крепления к трехгранной призме (рис. 1, а): 1, 2, 3, 4 – углы заострения дисков $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ (см. табл. 1)

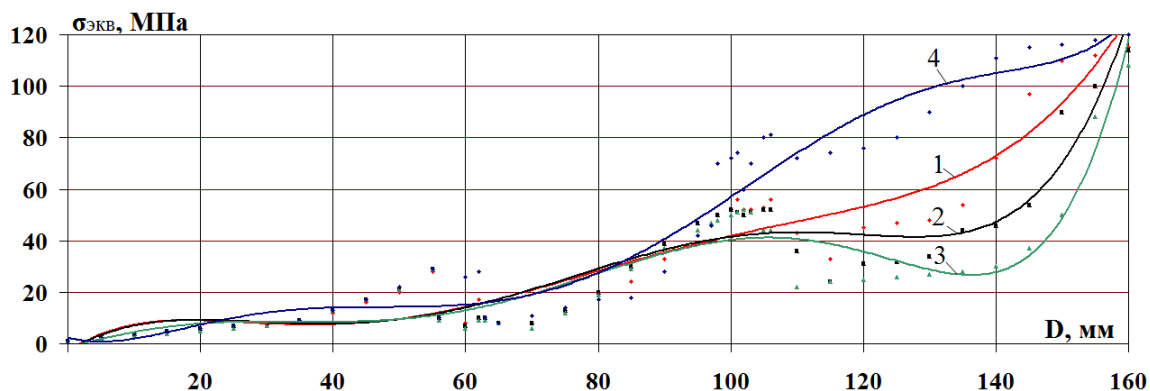


Рис. 3. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента для *второго варианта* узла крепления к трехгранной призме (рис. 1, б): 1, 2, 3, 4 – углы заострения дисков $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ (см. табл. 1)

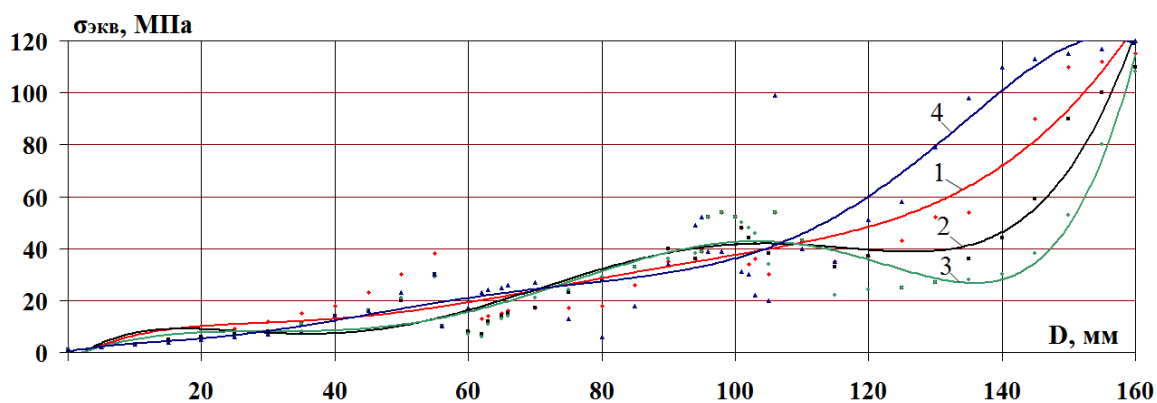


Рис. 4. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента для *третьего варианта* узла крепления к трехгранной призме (рис. 1, в): 1, 2, 3, 4 – углы заострения дисков $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ (см. табл. 1)

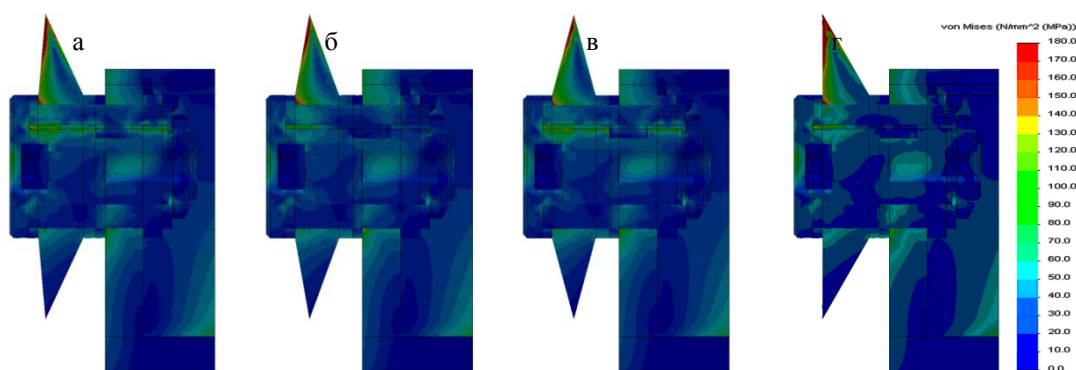


Рис. 5. Картина распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Мизеса в узлах крепления к четырехгранной призме при разрушении породного массива $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа раздельными дисковыми инструментами с углами заострения: а – $\varphi = 5^\circ + 25^\circ$; б – $\varphi = 10^\circ + 20^\circ$; в – $\varphi = 15^\circ + 15^\circ$; г – $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$

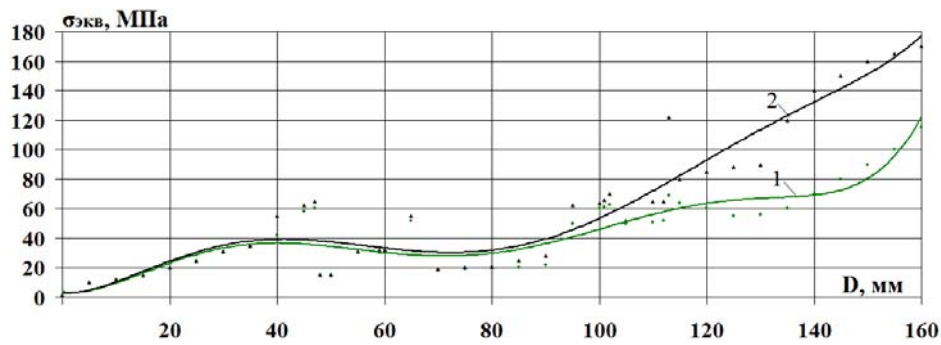


Рис. 6. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 5^\circ+25^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме: 1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа

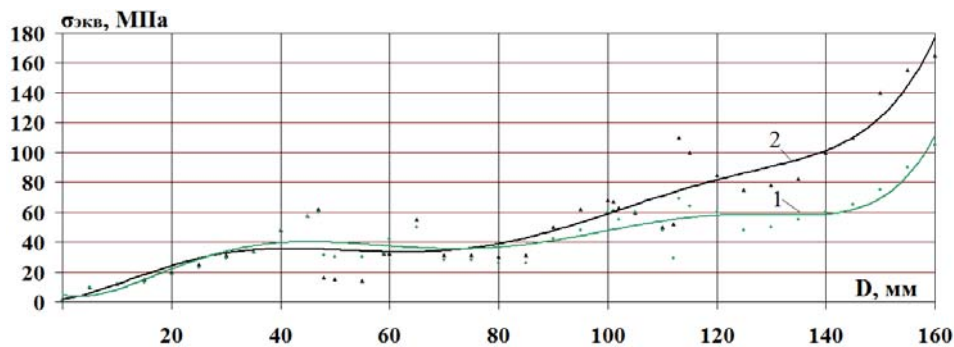


Рис. 7. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 10^\circ+20^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме: 1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа

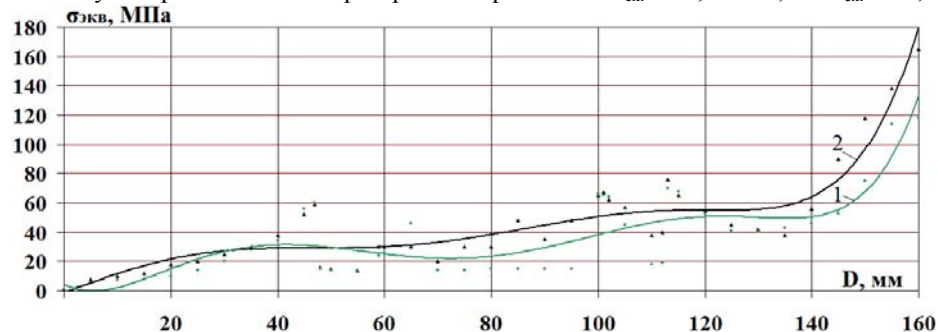


Рис. 8. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 15^\circ+15^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме: 1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа

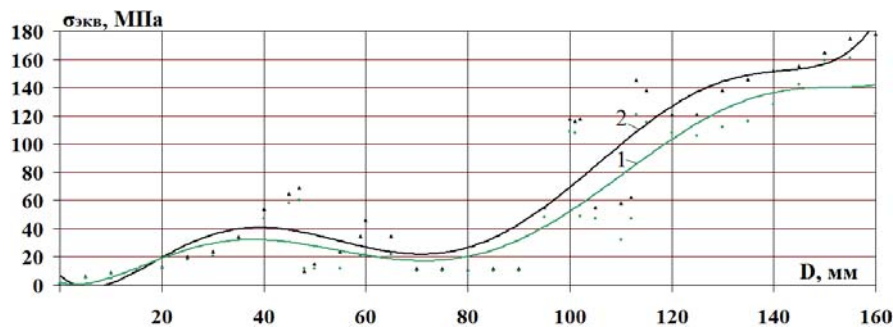


Рис. 9. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 0^\circ+30^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме: 1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа

Таблица 2

Характер распределения эквивалентных напряжений при разрушении забоя
раздельным дисковым инструментом на четырехгранных призмах проходческих комбайнов

Углы заострения двух дисков $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, град	Забойные массивы, $\sigma_{сж}$, МПа	Полиномиальные зависимости	Коэффициенты достоверности аппроксимации R^2
5°+25°	12,4	$\sigma_{эКВ} = 9E-10D^6 - 4E-07D^5 + 7E-05 D^4 - 0,005D^3 + 0,1473D^2 - 0,4312D + 3,5697$	0,8307
	60,6	$\sigma_{эКВ} = 6E-10D^6 - 3E-07D^5 + 5E-05D^4 - 0,0041D^3 + 0,1219D^2 - 0,0698D + 2,6707$	0,9093
10°+20°	12,4	$\sigma_{эКВ} = 9E-10D^6 - 4E-07D^5 + 7E-05D^4 - 0,0051D^3 + 0,1618D^2 - 0,792D + 4,5062$	0,8155
	60,6	$\sigma_{эКВ} = 7E-10D^6 - 3E-07D^5 + 5E-05D^4 - 0,0033D^3 + 0,0822D^2 + 0,4756D + 1,7038$	0,8832
15°+15°	12,4	$\sigma_{эКВ} = 1E-09D^6 - 5E-07D^5 + 9E-05D^4 - 0,0071D^3 + 0,2323D^2 - 1,9484D + 4,5644$	0,704
	60,6	$\sigma_{эКВ} = 6E-10D^6 - 2E-07D^5 + 3E-05D^4 - 0,0017D^3 + 0,0208D^2 + 1,1856D - 0,8734$	0,8712
0°+30°	12,4	$\sigma_{эКВ} = 8E-10D^6 - 4E-07D^5 + 8E-05D^4 - 0,0059D^3 + 0,1813D^2 - 0,9435D + 1,7707$	0,8275
	60,6	$\sigma_{эКВ} = 2E-09D^6 - 8E-07D^5 + 0,0001D^4 - 0,0108D^3 + 0,3579D^2 - 3,1909D + 6,9559$	0,8572

Анализ представленных выше результатов (рис. 2–9 и табл. 1, 2) по распределению эквивалентных напряжений $\sigma_{эКВ}$ от диаметров D сопряженных конструктивных элементов узлов крепления дискового инструмента к трехгранным и четырехгранной призмам показал наличие зон с максимальными величинами в периферийной забойной части дисков с различными углами заострения и в зонах сопряжения ступиц дисков с поверхностями цапф или осей, относительно которых диски могут свободно вращаться (рис. 1).

Минимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{эКВ}$ при разрушении забойных массивов ($\sigma_{сж} = 12,4; 60,6$ и 70 МПа) отмечен установкой биконического дискового инструмента ($\varphi = 5^\circ + 25^\circ = 30^\circ; 10^\circ + 20^\circ = 30^\circ; 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$), а максимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{эКВ}$ отмечен при использовании конического дискового инструмента ($\varphi = 0^\circ + 30^\circ$).

В конструкциях биконического дискового инструмента при изменении углов заострения от асимметричного ($\varphi = 5^\circ + 25^\circ; 10^\circ + 20^\circ$) до симметричного ($\varphi = 15^\circ + 15^\circ$) фиксируется снижение расчетного уровня максимальных эквивалентных напряжений $\sigma_{эКВ}$ у симметричного диска для всех вариантов нагружения.

Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{эКВ}$ по критерию Мизеса от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента к многогранным призмам описывается полиномиальными зависимостями шестой степени.

Результаты проведенных исследований позволили разработать спаренный узел крепления двухдискового инструмента на четырехгранной призме по патенту РФ 146845 [12] (рис. 1, д). Здесь сопрягаемыми конструктивными элементами в характерном сечении являются: 1 – диск, 2 – цапфа, 3 – ось с упорным буртиком. Отличительными особенностями данного технического решения является то, что условие совместного свободного вращения двух дисков относительно соосных цапф-втулок достигается наличием единого сборно-разборного конструктивного блока, который выполнен в виде жестко прикрепленных друг другу двух осей с упорными буртиками, одна из которых содержит шлицевой хвостовик, а другая содержит шлицевую втулку. Такое конструктивное исполнение предполагает уменьшение процесса заклинивания и износа спаренных дисковых инструментов, рациональное перераспределение эквивалентных напряжений $\sigma_{эКВ}$ при зарубке исполнительного органа проходческого комбайна с аксиальными коронками.

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”.

Литература.

1. 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. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2010141881/03 ; заявл. 12.10.2010 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19. – 14 с.
2. 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.
3. 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 // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2012. – № 3. – С. 112–117.
4. Хорешок, А.А. 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.
5. Хорешок, А.А. 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.
6. Маметьев, Л.Е. 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.
7. Маметьев, Л.Е. Улучшение процессов монтажа и демонтажа узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2014. – № 4. – С. 23–26.
8. Маметьев, Л.Е. Направление повышения зарубежной способности исполнительных органов проходческих комбайнов с аксиальными коронками / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2014. – № 5. – С. 21–24.
9. Хорешок, А.А. 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. Хорешок, А.А. 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.
11. 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.
12. 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.