

ГОРНЫЕ МАШИНЫ

УДК 622.232.83.054.52

НАПРЯЖЕНИЯ В СОПРЯГАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПРОХОДЧЕСКИХ ЗАБОЕВ

Борисов Андрей Юрьевич,

старший преподаватель, e-mail: bau.asp@rambler.ru

Маметьев Леонид Евгеньевич,

доктор технических наук, профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация

Представлены результаты моделирования напряженного состояния в сопрягаемых конструктивных элементах узлов крепления дисковых инструментов различного конструктивного исполнения на трехгранных и четырехгранных призмах исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия при разрушении забойных массивов.

Ключевые слова: Проходческий комбайн, исполнительный орган, коронка, многогранные призмы, узел крепления, дисковый инструмент, забойный массив, разрушение, напряженное состояние

В мировой практике проведения подземных горных выработок значительное распространение получили резцовые, дисковые и шарошечные инструменты для оснащения рабочих органов проходческих комбайнов, щитовых проходческих комплексов и агрегатов.

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева совместно с кафедрой горно-шахтного оборудования ЮТИ (филиал) НИ ТПУ и производителями ОАО «СУЭК-Кузбасс» проводятся исследования, направленные

на разработку конструктивных модулей узлов крепления дискового инструмента, обеспечивающего расширение области применения исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия на разрушение структурно-неоднородных углепородных забойных массивов.

На этапе проектирования оценку эффективности разрабатываемых технических решений по созданию дискового инструмента для разрушения забойных массивов целесообразно осуществлять по результатам моделирования напряженного со-

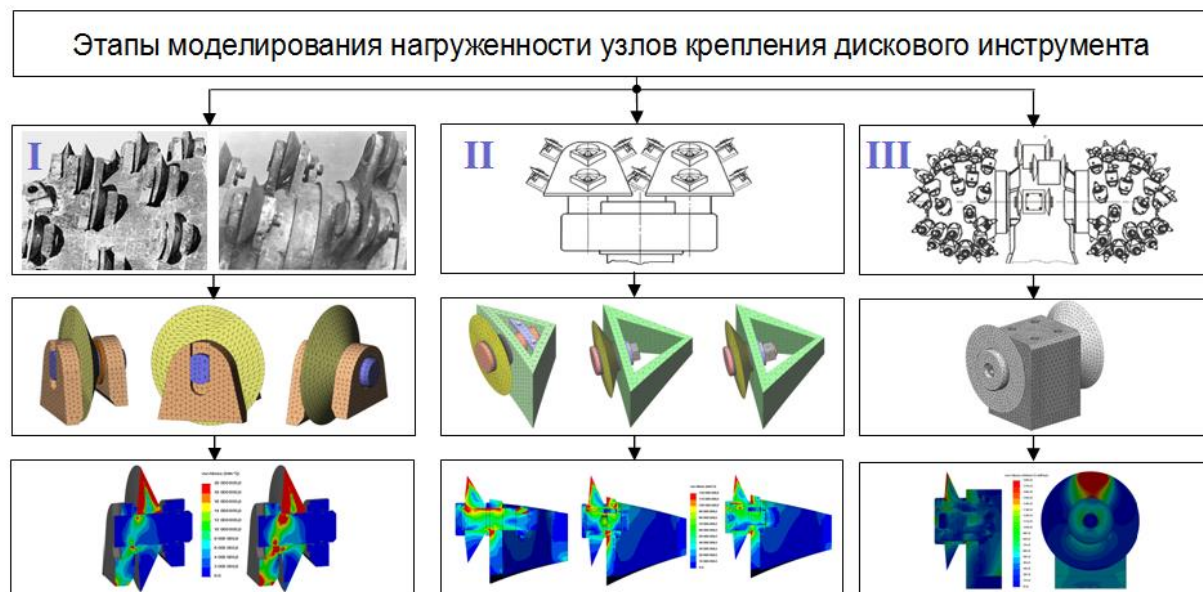


Рис. 1. Этапы разработки и моделирования нагруженности узлов крепления дискового инструмента при разрушении проходческих забоев

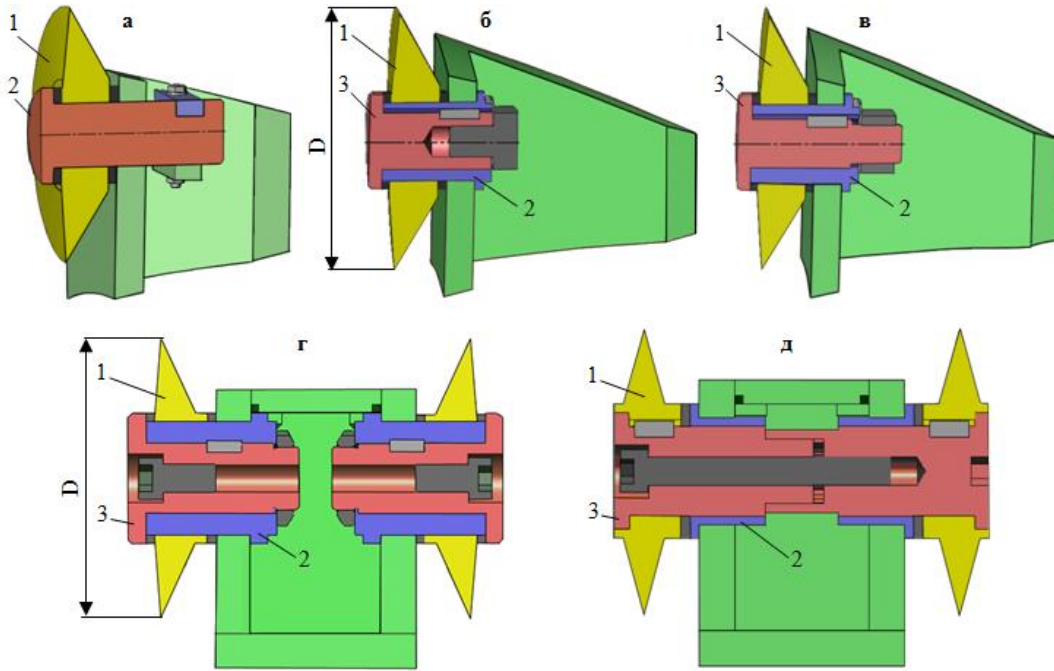


Рис. 2. Конструкции сопрягаемых элементов узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам: а – с планкой-замком [1], б – с винтом [2]; в – с гайкой [5]; г – с отдельными узлами крепления дисков [11]; д – со спаренными узлами крепления дисков [12]

стояния с использованием метода конечных элементов.

Моделирование напряженного состояния конструктивных элементов узлов крепления дискового инструмента в плоскостях сечения, проходящих через режущие кромки комплекта дисков с заданными геометрическими параметрами: наружным диаметром $D = 160$ мм и общим углом заострения конических поверхностей дисков $\varphi = 30^\circ$, который равен сумме переднего φ_1 и заднего φ_2 углов, осуществлялось в три этапа (рис. 1).

При этом коническая поверхность диска с углом φ_1 обращена к лобовой поверхности обнажения разрушаемого забоя проходческой выработки, а коническая поверхность диска с углом φ_2 обращена к боковой поверхности обнажения забоя.

Напряженное состояние определялось для конструкций трехгранных призм с узлами крепления по трем вариантам (рис. 2, а, б, в) и четырехгранных призм (рис. 2, г, д) для четырех исполнений дискового инструмента диаметром $D = 160$ мм (трех биконических с углами заострения: 1 – $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 5^\circ + 25^\circ = 30^\circ$; 2 – $\varphi = 10^\circ + 20^\circ = 30^\circ$; 3 – $\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и одного конического 4 – $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$) [1–12].

В табл. 1 и на рис. 3–5 представлены зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ 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.

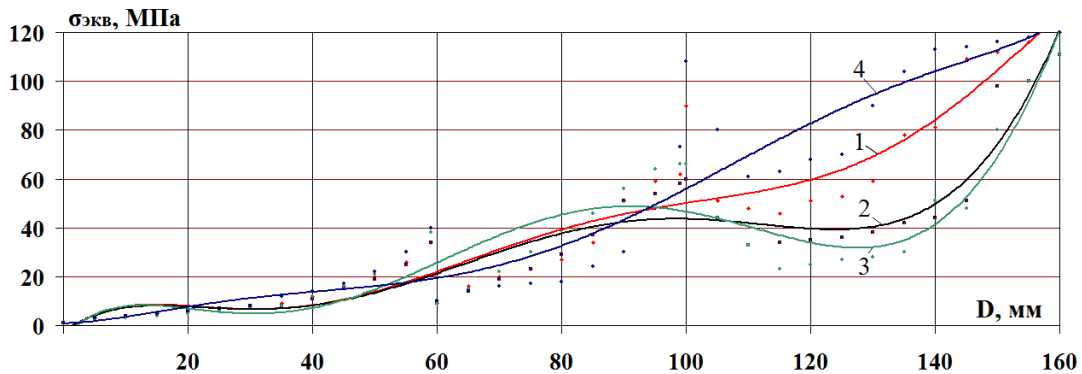


Рис. 3. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента для *первого варианта* узла крепления к трехгранной призме (рис. 2, а): 1, 2, 3, 4 – углы заострения дисков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

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°	$\sigma_{\text{эkv}} = -4 \cdot 10^{-10} D^6 + 2 \cdot 10^{-7} D^5 - 4 \cdot 10^{-5} D^4 + 0,0036 D^3 - 0,13 D^2 + 2,1824 D - 3,364$	0,9116
	2	10°+20°	$\sigma_{\text{эkv}} = -2 \cdot 10^{-10} D^6 + 1 \cdot 10^{-7} D^5 - 3 \cdot 10^{-5} D^4 + 0,0028 D^3 - 0,1138 D^2 + 1,8771 D - 2,6505$	0,9
	3	15°+15°	$\sigma_{\text{эkv}} = -4 \cdot 10^{-10} D^6 + 2 \cdot 10^{-7} D^5 - 5 \cdot 10^{-5} D^4 + 0,0044 D^3 - 0,1686 D^2 + 2,5206 D - 4,4542$	0,875
	4	0°+30°	$\sigma_{\text{эkv}} = 2 \cdot 10^{-10} D^6 - 1 \cdot 10^{-7} D^5 + 2 \cdot 10^{-5} D^4 - 0,0011 D^3 + 0,0297 D^2 + 0,0692 D + 0,8159$	0,8987
II	1	5°+25°	$\sigma_{\text{эkv}} = -1E \cdot 10^{-10} D^6 + 8 \cdot 10^{-8} D^5 - 2E \cdot 05 D^4 + 0,002 D^3 - 0,0932 D^2 + 1,8159 D - 3,217$	0,9143
	2	10°+20°	$\sigma_{\text{эkv}} = 2 \cdot 10^{-10} D^6 - 2 \cdot 10^{-8} D^5 - 4 \cdot 10^{-6} D^4 + 0,0011 D^3 - 0,0686 D^2 + 1,5676 D - 2,8298$	0,8901
	3	15°+15°	$\sigma_{\text{эkv}} = 5 \cdot 10^{-10} D^6 - 2 \cdot 10^{-7} D^5 + 2 \cdot 10^{-5} D^4 - 0,0008 D^3 - 0,0002 D^2 + 0,6508 D - 1,3489$	0,8752
	4	0°+30°	$\sigma_{\text{эkv}} = 6 \cdot 10^{-10} D^6 - 3 \cdot 10^{-7} D^5 + 4 \cdot 10^{-5} D^4 - 0,0031 D^3 + 0,0984 D^2 - 0,7694 D + 2,4977$	0,9467
III	1	5°+25°	$\sigma_{\text{эkv}} = -1E \cdot 10^{-10} D^6 + 6 \cdot 10^{-8} D^5 - 1 \cdot 10^{-5} D^4 + 0,0014 D^3 - 0,0648 D^2 + 1,5159 D - 3,3668$	0,9004
	2	10°+20°	$\sigma_{\text{эkv}} = -3 \cdot 10^{-11} D^6 + 6 \cdot 10^{-8} D^5 - 2 \cdot 10^{-5} D^4 + 0,0022 D^3 - 0,1041 D^2 + 2,0006 D - 4,0917$	0,9003
	3	15°+15°	$\sigma_{\text{эkv}} = 4 \cdot 10^{-10} D^6 - 1 \cdot 10^{-7} D^5 + 1 \cdot 10^{-5} D^4 - 4E \cdot 05 D^3 - 0,0253 D^2 + 0,921 D - 1,7204$	0,9011
	4	0°+30°	$\sigma_{\text{эkv}} = -3 \cdot 10^{-10} D^6 + 1 \cdot 10^{-7} D^5 - 2 \cdot 10^{-5} D^4 + 0,0012 D^3 - 0,0291 D^2 + 0,4971 D + 0,2927$	0,8799

При этом характерные сечения проходят через кромку диска и пересекают следующие сопрягаемые элементы: - для первого варианта на рис. 2, а (1 – диск, 2 – ось-цапфа), - для второго и третьего вариантов на рис. 2, б, в (1 – диск, 2 – цапфа, 3 – ось с упорным буртиком).

В табл. 2 и на рис. 6–9 представлены зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{эkv}}$ от диаметров D сопряженных конструктивных

элементов узлов крепления с отдельными дисковыми инструментами к четырехгранной призме (рис. 2, г) для прогнозируемого разрушения забойного массива: уголь (1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа), порода (2 – $\sigma_{\text{сж}} = 51$ МПа; 3 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа; 4 – $\sigma_{\text{сж}} = 78,9$ МПа). При этом сопрягаемыми конструктивными элементами в характерном сечении являются (рис. 2, г): 1 – диск, 2 – цапфа, 3 – ось с упорным буртиком.

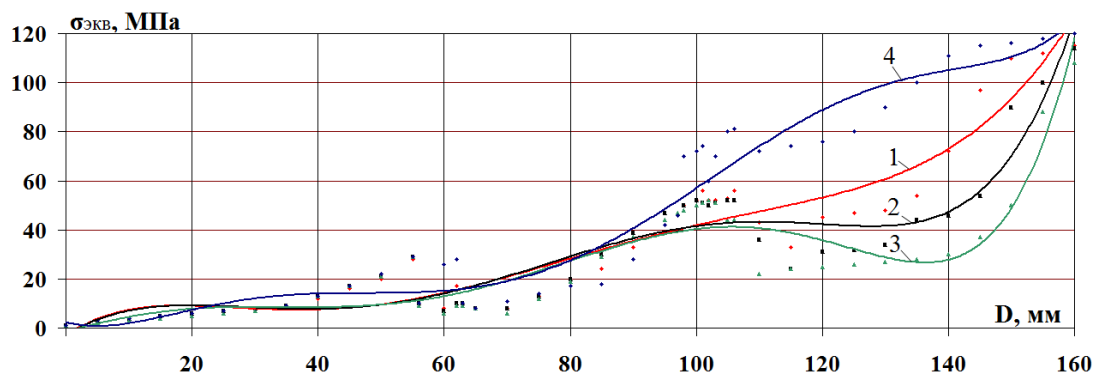


Рис. 4. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{эkv}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента для второго варианта узла крепления к трехгранной призме (рис. 2, б): 1, 2, 3, 4 – углы заострения дисков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

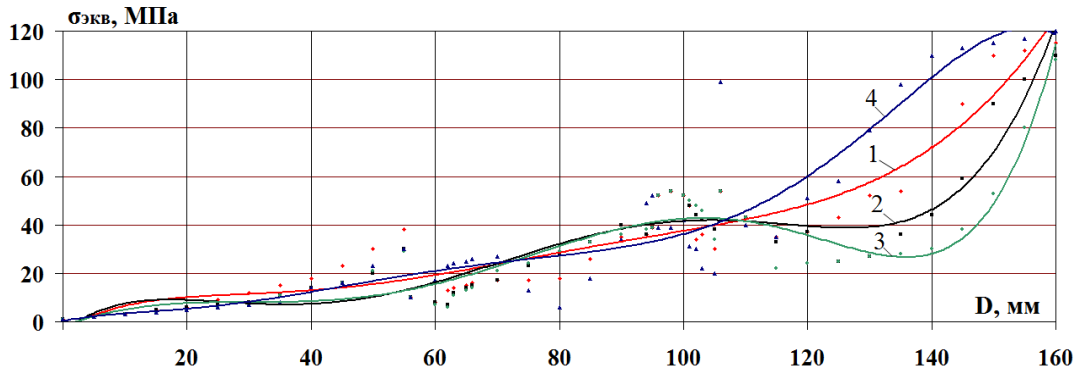


Рис. 5. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента для *третьего варианта* узла крепления к трехгранной призме (рис. 2, в): 1, 2, 3, 4 – углы заострения дисков $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ (см. табл. 1)

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, $\sigma_{\text{сж}}$, МПа	Полиномиальные зависимости	Коэффициенты достоверности аппроксимации R^2	
5°+25°	1	12,4	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 9 \cdot 10^{-10}D^6 - 4 \cdot 10^{-7}D^5 + 7 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,005D^3 + 0,1473D^2 - 0,4312D + 3,5697$	0,8307
	2	51	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 5 \cdot 10^{-10}D^6 - 3 \cdot 10^{-7}D^5 + 5 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0034D^3 + 0,0955D^2 + 0,236D + 2,227$	0,9124
	3	60,6	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 6 \cdot 10^{-10}D^6 - 3 \cdot 10^{-7}D^5 + 5 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0041D^3 + 0,1219D^2 - 0,0698D + 2,6707$	0,9093
	4	78,9	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 2 \cdot 10^{-9}D^6 - 8 \cdot 10^{-7}D^5 + 0,0001D^4 - 0,0115D^3 + 0,3972D^2 - 3,802D + 11,028$	0,9305
10°+20°	1	12,4	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 9 \cdot 10^{-10}D^6 - 4 \cdot 10^{-7}D^5 + 7 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0051D^3 + 0,1618D^2 - 0,792D + 4,5062$	0,8155
	2	51	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 4 \cdot 10^{-10}D^6 - 1 \cdot 10^{-7}D^5 + 2 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0011D^3 - 0,0011D^2 + 1,5566D - 0,5273$	0,8962
	3	60,6	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 7 \cdot 10^{-10}D^6 - 3 \cdot 10^{-7}D^5 + 5 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0033D^3 + 0,0822D^2 + 0,4756D + 1,7038$	0,8832
	4	78,9	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 5 \cdot 10^{-10}D^6 - 2 \cdot 10^{-7}D^5 + 4 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,003D^3 + 0,0857D^2 + 0,3425D + 1,9343$	0,8462
15°+15°	1	12,4	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 1 \cdot 10^{-9}D^6 - 5 \cdot 10^{-7}D^5 + 9 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0071D^3 + 0,2323D^2 - 1,9484D + 4,5644$	0,704
	2	51	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 7 \cdot 10^{-10}D^6 - 3 \cdot 10^{-7}D^5 + 4 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0025D^3 + 0,045D^2 + 0,8656D - 0,1547$	0,8645
	3	60,6	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 6 \cdot 10^{-10}D^6 - 2 \cdot 10^{-7}D^5 + 3 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0017D^3 + 0,0208D^2 + 1,1856D - 0,8734$	0,8712
	4	78,9	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 8 \cdot 10^{-10}D^6 - 3 \cdot 10^{-7}D^5 + 5 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0031D^3 + 0,0604D^2 + 0,9739D - 0,1622$	0,763
0°+30°	1	12,4	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 8 \cdot 10^{-10}D^6 - 4 \cdot 10^{-7}D^5 + 8 \cdot 10^{-5}D^4 - 0,0059D^3 + 0,1813D^2 - 0,9435D + 1,7707$	0,8275
	2	51	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 1 \cdot 10^{-9}D^6 - 7 \cdot 10^{-7}D^5 + 0,0001D^4 - 0,0099D^3 + 0,3281D^2 - 2,8843D + 6,5965$	0,8627
	3	60,6	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 2 \cdot 10^{-9}D^6 - 8 \cdot 10^{-7}D^5 + 0,0001D^4 - 0,0108D^3 + 0,3579D^2 - 3,1909D + 6,9559$	0,8572
	4	78,9	$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 2 \cdot 10^{-9}D^6 - 9 \cdot 10^{-7}D^5 + 0,0002D^4 - 0,0125D^3 + 0,4166D^2 - 3,8895D + 7,5362$	0,8501

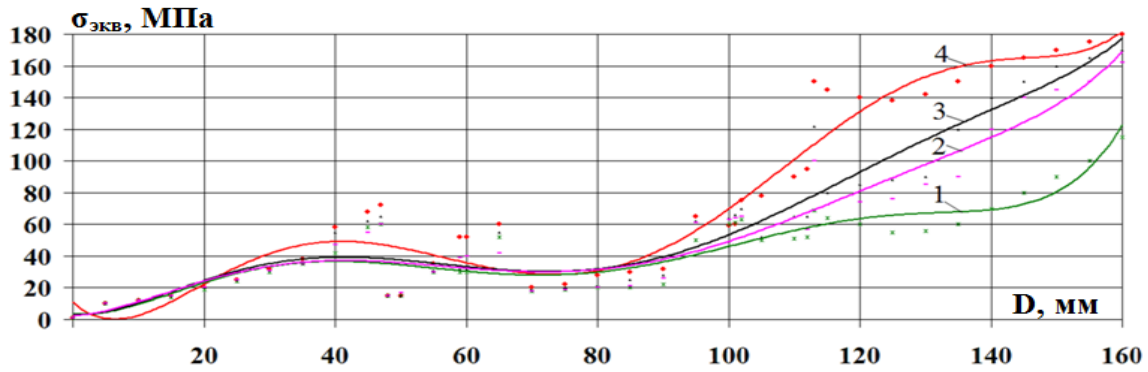


Рис. 6. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 5^\circ+25^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме (табл. 2): 1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 51$ МПа; 3 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа; 4 – $\sigma_{\text{сж}} = 78,9$ МПа

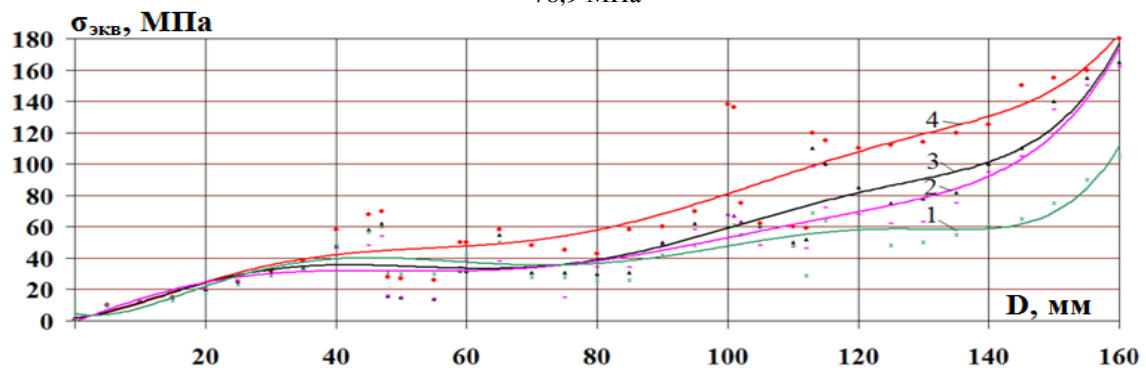


Рис. 7. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 10^\circ+20^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме (табл. 2): 1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 51$ МПа; 3 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа; 4 – $\sigma_{\text{сж}} = 78,9$ МПа

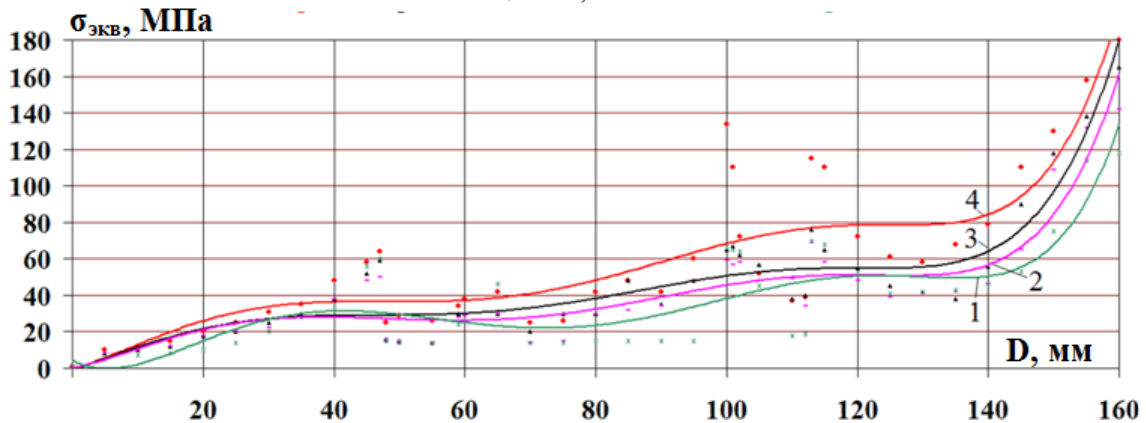


Рис. 8. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 15^\circ+15^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме (табл. 2):

1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 51$ МПа; 3 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа; 4 – $\sigma_{\text{сж}} = 78,9$ МПа

В табл. 3 и на рис. 10–13 представлены зависимости распределения величины эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Мизеса в сопрягаемых конструктивных элементах узла крепления дискового инструмента на четырехгранной призме при разрушении горного массива $\sigma_{\text{сж}}$. Характеристики горного массива: уголь ($\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа;

13,5 МПа; 14,8 МПа) и порода ($\sigma_{\text{сж}} = 51$ МПа; 60,6 МПа; 78,9 МПа). Произведен анализ зависимостей по сечению, проходящему через режущую кромку каждого из четырех дисков диаметром $D = 160$ мм с учетом углов заострения: (биконические: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 5^\circ + 25^\circ = 30^\circ$; $10^\circ + 20^\circ = 30^\circ$; $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и конический $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$).

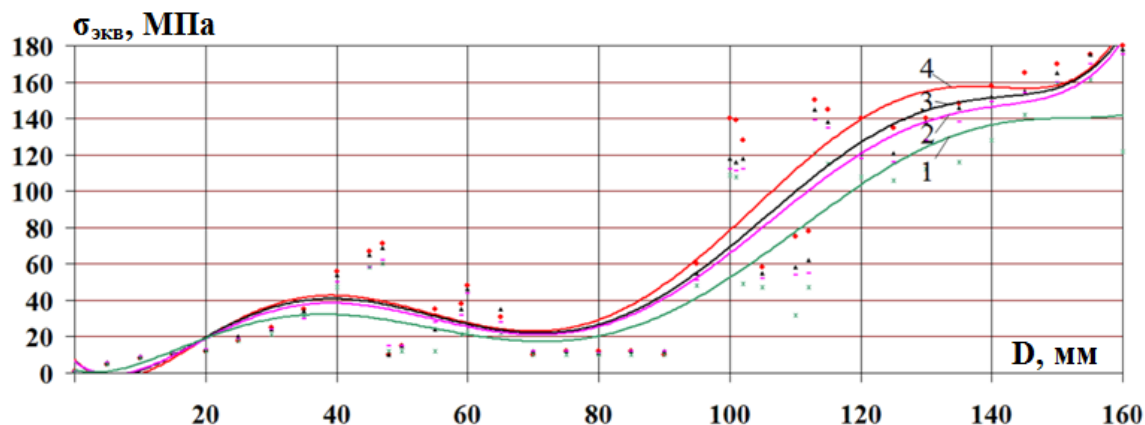


Рис. 9. Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновую реборду дискового инструмента $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$ узла крепления к четырехгранной призме (табл. 2):

1 – $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа; 2 – $\sigma_{\text{сж}} = 51$ МПа; 3 – $\sigma_{\text{сж}} = 60,6$ МПа; 4 – $\sigma_{\text{сж}} = 78,9$ МПа

Таблица 3 Характер распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ в сопряженных конструктивных элементах узлов крепления дисковых инструментов к четырехгранным призмам

Углы заострения двух дисков $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, град	Поверхности моделирования сопрягаемых конструктивных элементов	Зависимости	Коэффициенты достоверности аппроксимации R^2
5°+25°	1 по кромке диска	$\sigma_{\text{экв}} = 1,0115 \sigma_{\text{сж}} + 105,44$	0,9711
	2 по ступице диска	$\sigma_{\text{экв}} = 1,1923 \sigma_{\text{сж}} + 49,771$	0,9519
	3 по наружной поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 0,5683 \sigma_{\text{сж}} + 38,424$	0,685
	4 по внутренней поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 0,1728 \sigma_{\text{сж}} + 59,486$	0,8121
	5 по наружной поверхности оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,1645 \sigma_{\text{сж}} + 57,655$	0,819
	6 в центре оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,0997 \sigma_{\text{сж}} + 17,194$	0,5241
10°+20°	1 по кромке диска	$\sigma_{\text{экв}} = 1,153 \sigma_{\text{сж}} + 94,515$	0,963
	2 по ступице диска	$\sigma_{\text{экв}} = 0,7837 \sigma_{\text{сж}} + 59,495$	0,9911
	3 по наружной поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 0,4563 \sigma_{\text{сж}} + 23,353$	0,9969
	4 по внутренней поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 0,273 \sigma_{\text{сж}} + 49,9$	0,851
	5 по наружной поверхности оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,921 \sigma_{\text{сж}} + 35,783$	0,5218
	6 в центре оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,2206 \sigma_{\text{сж}} + 22,06$	0,7235
15°+15°	1 по кромке диска	$\sigma_{\text{экв}} = 0,9396 \sigma_{\text{сж}} + 103,59$	0,9442
	2 по ступице диска	$\sigma_{\text{экв}} = 0,5622 \sigma_{\text{сж}} + 53,984$	0,5191
	3 по наружной поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 0,3284 \sigma_{\text{сж}} + 16,344$	0,9024
	4 по внутренней поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 0,1354 \sigma_{\text{сж}} + 56,883$	0,4664
	5 по наружной поверхности оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,5446 \sigma_{\text{сж}} + 47,124$	0,4087
	6 в центре оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,3868 \sigma_{\text{сж}} + 9,6287$	0,9629
0°+30°	1 по кромке диска	$\sigma_{\text{экв}} = 0,9328 \sigma_{\text{сж}} + 116,43$	0,8789
	2 по ступице диска	$\sigma_{\text{экв}} = 0,4487 \sigma_{\text{сж}} + 115,99$	0,9884
	3 по наружной поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 0,4338 \sigma_{\text{сж}} + 38,498$	0,8523
	4 по внутренней поверхности цапфы	$\sigma_{\text{экв}} = 1,2391 \sigma_{\text{сж}} + 38,897$	0,9435
	5 по наружной поверхности оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,4039 \sigma_{\text{сж}} + 98,013$	0,6492
	6 в центре оси	$\sigma_{\text{экв}} = 0,0282 \sigma_{\text{сж}} + 9,5708$	0,9368

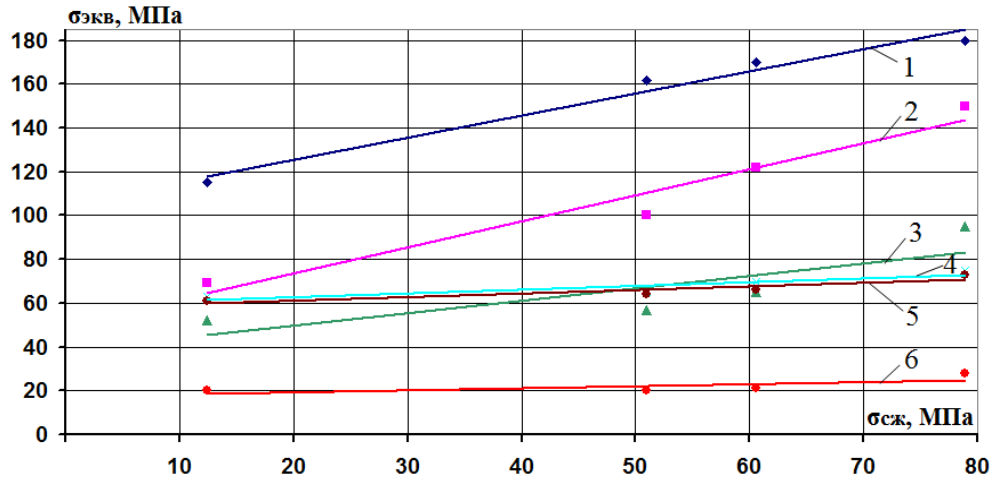


Рис. 10. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от предела прочности разрушаемого горного массива на сжатие $\sigma_{\text{сж}}$ в диаметральном сечении по клиновидной реборде диска ($\varphi = 5^\circ + 25^\circ = 30^\circ$) для сопрягаемых конструктивных элементов 1–6 (табл. 3) узла крепления к четырехгранной призме (рис. 2, г)

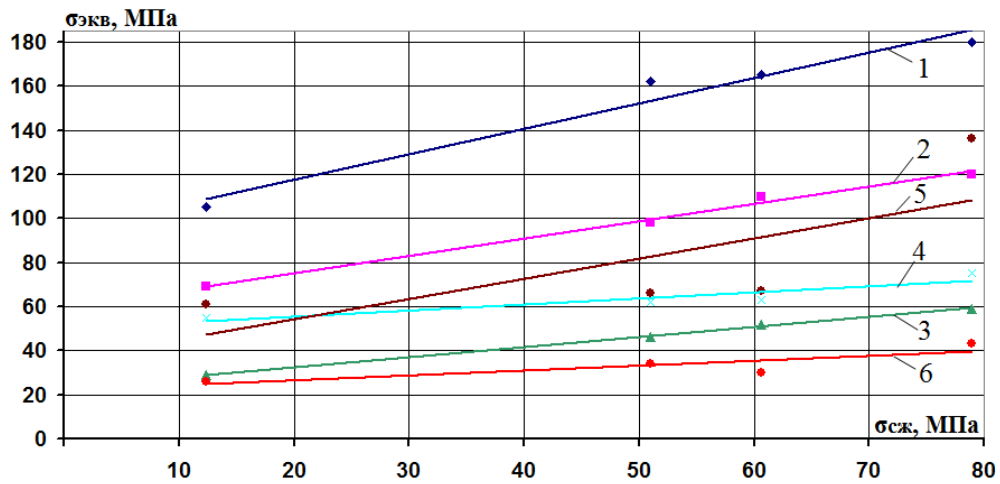


Рис. 11. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от предела прочности разрушаемого горного массива на сжатие $\sigma_{\text{сж}}$ в диаметральном сечении по клиновидной реборде диска ($\varphi = 10^\circ + 20^\circ = 30^\circ$) для сопрягаемых конструктивных элементов 1–6 (табл. 3) узла крепления к четырехгранной призме (рис. 2, г)

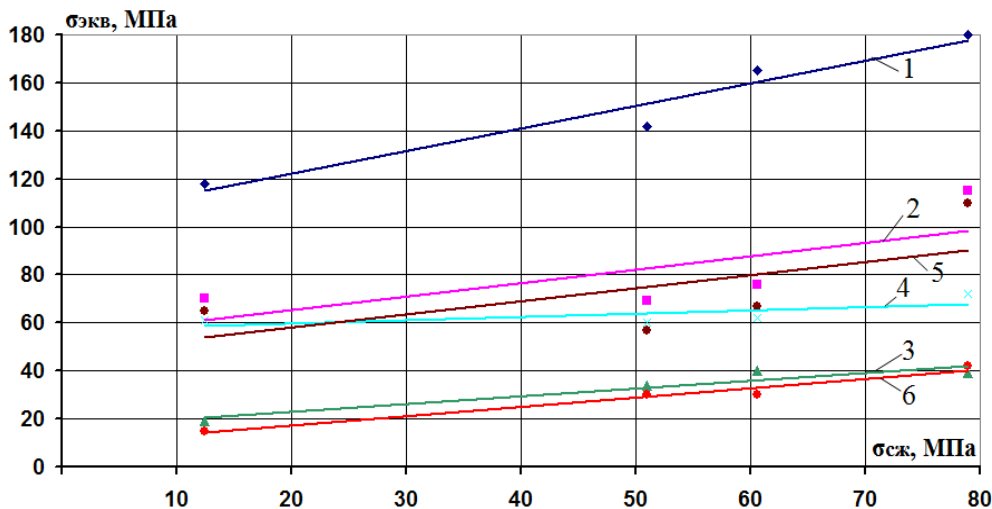


Рис. 12. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от предела прочности разрушаемого горного массива на сжатие $\sigma_{\text{сж}}$ в диаметральном сечении по клиновидной реборде диска ($\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$) для сопрягаемых конструктивных элементов 1–6 (табл. 3) узла крепления к четырехгранной призме (рис. 2, г)

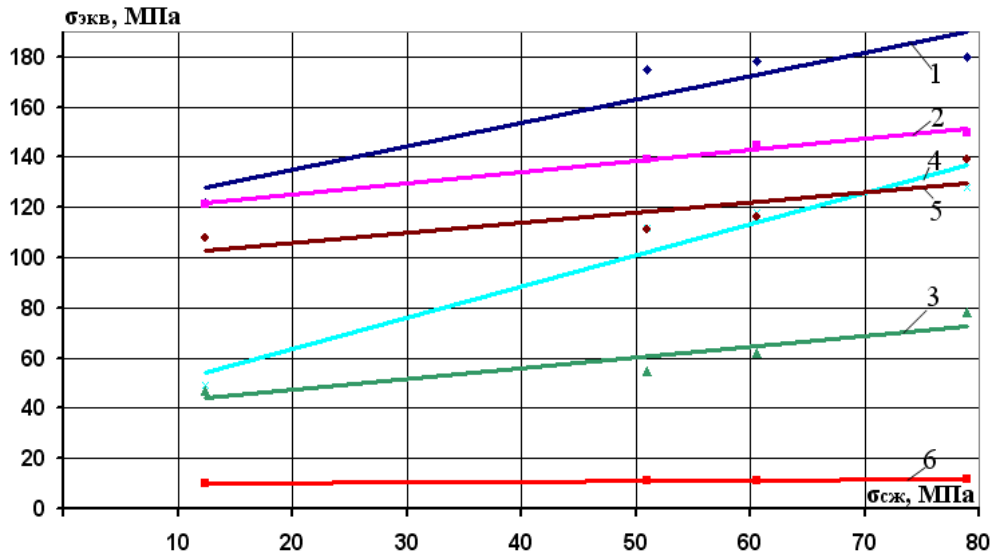


Рис. 13. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от предела прочности разрушаемого горного массива на сжатие $\sigma_{\text{сж}}$ в диаметральном сечении по клиновидной реборде диска ($\varphi = 0^\circ + 30^\circ = 30^\circ$) для сопрягаемых конструктивных элементов 1–6 (табл. 3) узла крепления к четырехгранной призме (рис. 2, г)

Выводы

Анализ представленных выше результатов (рис. 3–9 и табл. 1, 2) по распределению эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметров D сопряженных конструктивных элементов узлов крепления дискового инструмента к трехгранным и четырехгранным 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.

Минимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ и перемещений при разрушении забойных массивов ($\sigma_{\text{сж}} = 12,4\text{--}78,9$ 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 $\sigma_{\text{экв}}$ и перемещений 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 $\sigma_{\text{экв}}$ у симметричного диска для всех вариантов нагружения.

Зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Мизеса от диаметра D сопрягаемых конструктивных элементов в сечении, проходящем через клиновидную реборду дискового инструмента к многогранным призмам (табл. 1, 2) описывается полиномиальными зависимостями шестой степени. При этом зависимости распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Мизеса от предела прочности разрушаемого горного массива на сжатие $\sigma_{\text{сж}}$ в диамет-

ральном сечении по клиновидной реборде дисков для сопрягаемых конструктивных элементов (табл. 3) узла крепления к четырехгранной призме описываются линейными зависимостями.

Отмечено снижение размеров зон максимальных эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ на забойной грани трехгранной призмы (рис. 2, в), обращенной к забою в третьем варианте узла крепления дискового инструмента, по сравнению со вторым вариантом (рис. 2, б), что характеризует повышение жесткости крепления гайкой по сравнению с винтом.

Результаты проведенных исследований позволили разработать спаренный узел крепления двухдискового инструмента на четырехгранной призме по патенту РФ 146845 (рис. 2, д) [12]. 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 $\sigma_{\text{экв}}$ при зарубке исполнительного органа проходческого комбайна с аксиальными коронками.

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.

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”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т имени 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. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т имени 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. профессион. 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. профессион. 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.

Поступило в редакцию 15.05.2015

THE STRESS IN THE MATING ELEMENTS OF THE DISK TOOLS IN THE DESTRUCTION OF THE TUNNEL FACES

Borisov Andrey Yu.,
Senior Lecturer, e-mail: bau.asp@rambler.ru
Mametyev Leonid E.,
D.Sc. (Engineering)

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

Presents the results of modeling the stress state in the mating structural elements of the attachment disk tools various design on triangular and tetrahedral prisms effectors of roadheaders selective action in the destruction of face massifs.

Keywords: Roadheader, effector, crown, polygonal prisms, attachment point, disk tool, face massif, destruction, stress state.

REFERENCES

1. Mametyev L.E., Khoreshok A.A., Borisov A.Yu., Kuznetsov V.V., Muhortikov S.G. Tunnelling machine actuator [Ispolnitel'nyy organ prohodcheskogo kombajna]. Patent RU 2455486 C2, 10.07.2012.
2. Mametyev L.E., Khoreshok A.A., Borisov A.Yu., Muhortikov S.G., Vorobyev A.V. The mount disk tool in a trihedral prism [Uzel krepleniya diskovogo instrumenta v trehgrannoy prizme]. Patent RU 128898 U1, 10.06.2013.
3. Nesterov V.I., Mametyev L.E., Khoreshok A.A., Borisov A.Yu. The effector of road heading machine for overlapping processes of destruction face with crush of lumps and loadings of mined rock [Ispolnitel'nyy organ prokhodcheskogo kombayna dlya sovmeshcheniya protsessov razrusheniya zaboya s drobлением negabaritov i pogrutzkoy gornoy massy], Bulletin KuzSTU, 2012, № 3, pp. 112-117. (rus)
4. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Kuznetsov V.V., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. Distribution of pressure in knots of fastening of the disk tool on heads roadheaders [Raspredelenie napryazheniy v uzлах krepleniya diskovogo instrumenta na koronkakh prokhodcheskikh kombaynov], Bulletin KuzSTU, 2012, № 6, pp. 34-40. (rus)
5. A.A. Khoreshok, L.E. Mametyev, A.Yu. Borisov, S.G. Mukhortikov, A.V. Vorobyev. Designing of reversible heads for boom-type roadheaders with the disk tool on replaceable trihedral prisms [Razrabotka reversivnykh koronok dlya prokhodcheskikh kombaynov s diskovym instrumentom na smennykh trekhgrannykh prizmakh], Mining equipment and electromechanics, 2013, № 9, pp. 40-44. (rus)
6. Mametyev L.E., Khoreshok A.A., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. Improvement of designs of fastening knots of the disk tool on radial heads of roadheaders [Sovershenstvovanie konstruksiy uzlov krepleniya diskovogo instrumenta na koronkakh prokhodcheskikh kombaynov], Bulletin KuzSTU, 2014, № 1, pp. 3-5. (rus)
7. Mametyev L.E., Borisov A.Yu. Improvement of the process of mounting and dismounting of knots fastening disk tool on the crowns of roadheaders [Uluchshenie protsessov montazha i demontazha uzlov krepleniya diskovogo instrumenta na koronkakh prokhodcheskikh kombaynov], Bulletin KuzSTU, 2014, № 4, pp. 23-26. (rus)
8. Mametyev L.E., Khoreshok A.A., Borisov A.Yu. The direction of increasing cutting capability of the effectors of roadheaders with axial heads [Napravlenie povysheniya zarubnoy sposobnosti ispolnitel'nykh organov prokhodcheskikh kombaynov s aksial'nymi koronkami], Bulletin KuzSTU, 2014, № 5, pp. 21-24. (rus)
9. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Tsekhin A.M., Borisov A.Yu. Devices for improvement of processes of the cutting of effectors of roadheaders of selective action [Ustroystva dlya uluchsheniya protsessov zarubki ispolnitel'nykh organov prokhodcheskikh kombaynov izbiratel'nogo deystviya], Mining equipment and electromechanics, 2014, № 4, pp. 11-16. (rus)
10. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Tsekhin A.M., Borisov A.Yu. Adaptation of the attachment disk tool of the effectors of roadheaders to assembly and disassembly [Adaptatsiya uzlov krepleniya diskovogo instrumenta ispolnitel'nykh organov prokhodcheskikh kombaynov k montazhu i demontazhu], Mining equipment and electromechanics, 2014, № 7, pp. 3-8. (rus)
11. Mametyev L.E., Khoreshok A.A., Borisov A.Yu., Tsekhin A.M. The effector roadheaders selective action [Ispolnitel'nyy organ prohodcheskogo kombajna izbiratel'nogo deystviya]. Patent RU 136086 U1, 27.12.2013.
12. Mametyev L.E., Khoreshok A.A., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. Disc tool roadheaders [Diskovyy instrument prohodcheskogo kombajna]. Patent RU 146845 U1, 20.10.2014.

Received 15.05.2015