

На правах рукописи



Борисов Андрей Юрьевич

**РАЗРАБОТКА ДВУХКОРОНЧАТЫХ СТРЕЛОВИДНЫХ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ
С ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Хорешок Алексей Алексеевич

Официальные оппоненты:

Хазанович Григорий Шнеерович

доктор технических наук, профессор,
Шахтинский институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
кафедра «Технология и комплексы горных, строительных и металлургических производств», профессор

Ганжа Владимир Александрович

кандидат технических наук, доцент,
Институт нефти и газа ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет», кафедра «Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы», доцент

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится «02» марта 2017 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс (3842) 58-33-80, e-mail: siyu.eav@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2016/bor/Dissertation.pdf>

Автореферат разослан «___» _____ 20 ____ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Семыкина Ирина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В Кузбассе за последние десять лет (с 2006 по 2015 гг.) добыча угля ежегодно наращивается от 174,3 до 215,6 млн т.

Важнейшим звеном в технологическом процессе горнодобывающего предприятия является проведение подготовительных горных выработок, от темпов проходки и качества которых в значительной мере зависит эффективная работа всего добывающего комплекса. Поэтому соответствие конструктивных и режимных параметров исполнительных органов проходческих комбайнов горно-геологическим условиям эксплуатации является основным фактором, влияющим на показатели процесса проходки подземных горных выработок.

Прочность пород Кузнецкого угольного бассейна изменяется в очень широких пределах, как по площади, так и по глубине залегания. Предел прочности на сжатие песчаников составляет 10–200 МПа, алевролитов 8–140 МПа, аргиллитов – 6–70 МПа, каменного угля – 8–24 МПа.

Процесс разрушения горного массива проходческими комбайнами избирательного действия, несмотря на неоспоримые достоинства комбайновой технологии проведения подготовительных выработок, имеет следующие существенные недостатки: большой выход мелких фракций разрушенного угля вследствие его переизмельчения; за счет этого высокая запыленность воздуха в выработке, в десятки раз превышающая допустимые санитарные нормы; высокая энергоемкость процесса разрушения и большой расход режущего инструмента при разрушении абразивных и крепких включений.

Практика проведения подземных горных работ показала, что породы с крепостью $f \leq 10$ и высокой абразивностью целесообразно разрушать с помощью дисковых инструментов, имеющих по сравнению с резцами более высокие прочностные, износостойкие показатели и меньшее пылеобразование.

Использование дисковых инструментов на исполнительных органах проходческих комбайнов избирательного действия является малоизученным вопросом и требует специальных исследований по разрушению, дроблению и погрузке горных пород при реверсивных режимах работы.

Поэтому работа, направленная на разработку двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом является актуальной научной задачей.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту № 632 с рег. № 01201456209 на тему «Исследование параметров технологий и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе».

Степень разработанности.

Исследованиями процессов разрушения горных пород и углей дисковыми инструментами, синтезом добычных и проходческих комплексов, обоснованием и разработкой параметров исполнительных органов проходческих комбайнов занимались отечественные и зарубежные ученые: Л.И. Барон, А.И. Берон, Л.Б. Глат-

ман, М.Г. Крапивин, Г.Ш. Хазанович, В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, М.С. Сафохин, А.Н. Коршунов, В.И. Нестеров, А.Б. Логов, Б.Л. Герике, А.А. Хорешок, В.В. Аксенов, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.В. Кузнецов, В.М. Лизункин, А.П. Безгубов, В.Г. Мерзляков, И.А. Леванковский, В.А. Ганжа, Д.А. Юнгмейстер, В.В. Габов, С.А. Лавренко, B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Entacher, G. Winter, T. Bumberger, K. Decker, I. Godor, R. Galler, R. Gertsch, L. Gertsch, J. Rostami, J. Roby, T. Sandell, J. Kocab, L. Lindbergh, A.E. Samuel, L.P. Seow, Y. Zhang, X.W. Wang, H.F. Liu и другие.

Установлено, что в известных научных исследованиях и конструкторских проработках отсутствует информация о конструктивных блоках с дисковыми инструментами для совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки горных пород при реверсивных режимах работы коронок исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия.

Цель работы: разработка двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом.

Идея работы: заключается в анализе и сравнении параметров разрушения горных пород дисковым инструментом с консольными узлами крепления к многогранным призмам на двухкорончатых исполнительных органах в реверсивных режимах работы.

Задачи работы:

1. Обосновать область применения и разработать технические решения для совершенствования конструкций стреловидных исполнительных органов с узлами крепления дисковых инструментов.

2. Разработать конечно-элементные модели отдельных дисковых инструментов с консольными узлами крепления к многогранным призмам двухкорончатых стреловидных исполнительных органов и определить усилия разрушения горных пород.

3. Исследовать напряженно-деформированное состояние отдельных дисковых инструментов с консольными узлами крепления к многогранным призмам двухкорончатых стреловидных исполнительных органов при разрушении горных пород.

4. Оценить суммарные усилия и крутящие моменты на отдельных коронках двухкорончатого стреловидного исполнительного органа с дисковым инструментом при реверсивных режимах работы.

Методология и методы исследований включают: анализ научно-технической информации по разработке и эксплуатации исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия, обоснование технических решений по совершенствованию узлов крепления дискового инструмента, теоретические исследования нагруженности консольных узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам при разрушении горных пород с использованием конечно-элементных моделей и 3D-моделирования программным комплексом SolidWorks Simulation.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Усилия статического нагружения и напряженное состояние отдельных дисковых инструментов с консольными узлами крепления к многогранным призмам на двухкорончатых стреловидных исполнительных органах проходческих комбайнов определяются параметрами прочности горных пород, углами биконичности дисков и углами наклона продольных осей дисков к осям вращения коронок.

2. Усилия разрушения и крутящие моменты на отдельных коронках двухкорончатого стреловидного исполнительного органа зависят от их кинематических и конструктивных параметров, радиуса кривизны траектории движения, формы и характера изменения глубины внедрения на угловом секторе контакта с забоем лезвий дискового инструмента с учетом количества фиксированных углов положения дискового инструмента на трехгранных призмах в процессе вращения и подачи, и параметров прочности горных пород.

3. В режиме совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки горной массы, включая прибортовые коридоры, суммарные усилия и крутящие моменты на отдельных коронках двухкорончатого стреловидного исполнительного органа с консольными узлами крепления дисков к трехгранным призмам зависят от направлений их взаимного вращения с бесконтактным пересечением траекторий движения в центральной зоне и перемещения стрелы в призабойном пространстве проходческой горной выработки.

Научная новизна:

- выявлено, что усилия статического нагружения отдельных дисковых инструментов с консольными узлами крепления к многогранным призмам на двухкорончатых стреловидных исполнительных органах проходческих комбайнов прямо пропорционально зависят от прочности горных пород и имеют минимальные значения на биконическом дисковом инструменте с углом заострения ($\varphi = 15^\circ + 15^\circ$), а максимальные – на коническом ($\varphi = 0^\circ + 30^\circ$) при углах наклона продольных осей дисков к осям вращения коронок ($\varphi_k = 0^\circ, 10^\circ, 18^\circ$);

- впервые установлены зависимости эквивалентных напряжений на дисковом инструменте с консольными узлами крепления к многогранным призмам от прочности горных пород, которые описываются полиномами шестой степени для трехгранных и четырехгранных призм с отдельными дисками, и четвертой степени для спаренных дисков на четырехгранных призмах, при этом зоны концентрации максимальных эквивалентных напряжений смещены к лезвию дискового инструмента с минимальным объемом и значением для всех типов биконических дисковых инструментов.

- определены зависимости усилий разрушения и крутящих моментов на отдельных коронках двухкорончатого стреловидного исполнительного органа от прочности горных пород, которые описываются полиномами пятой степени и отличаются тем, что учтена периодичность входа и выхода дисков из контакта с породой при фиксированных угловых положениях поворота коронок.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечиваются корректностью принятых допущений при моделировании напряженно-деформированного состояния с использованием метода конечных элементов с параболической формой (параметры сетки: размер КЭ – 10 мм; допуск – 0,5 мм) и положений механики разрушения хрупких сред, наличием патентов РФ.

Личный вклад автора заключается: в обосновании и разработке технических решений узлов крепления дисковых инструментов на многогранных призмах стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия; в определении зависимости усилий на дисковом инструменте от прочно-

сти разрушаемых горных пород при изменении угла наклона продольной оси узла крепления диска к оси вращения рабочего органа; в исследованиях напряженно-деформированного состояния узлов крепления дисковых инструментов на многогранных призмах; в оценке суммарных усилий и крутящих моментов на двухкорончатом стреловидном исполнительном органе с дисковым инструментом при разрушении горных пород с учетом реверсивных режимов работы.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Результаты исследования параметров напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов консольных узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам позволяют установить зависимости суммарных усилий и крутящих моментов на двухкорончатом стреловидном исполнительном органе от прочности горных пород и могут быть использованы на этапе проектирования.

Практическая значимость заключается в использовании группы патентов РФ из одного изобретения и девяти полезных моделей в проектно-конструкторских организациях и заводах горного машиностроения при создании исполнительных органов проходческих комбайнов, адаптированных к широкому спектру условий эксплуатации с возможностью импортозамещения продукции.

Реализация выводов и рекомендаций работы.

Полученные результаты диссертационной работы рекомендованы к использованию на предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс» в виде технических решений, защищенных патентами РФ, а также внедрены в учебный процесс по дисциплине «Горные машины и оборудование» ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва (КузГТУ) г. Кемерово.

Апробация работы.

Основные положения и содержание диссертационной работы докладывались и обсуждались на: ежегодных научно-практических конференциях студентов, аспирантов, докторантов и преподавателей КузГТУ (г. Кемерово, 2001–2003, 2006–2016 гг.); II Междунар. науч. конф. «Динамика и прочность горных машин» (г. Новосибирск, 2003 г.); Всерос. и Междунар. науч.-практич. конф. «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» (г. Юрга, 2007, 2008, 2010, 2012, 2014 гг.); I Всерос. науч.-техн. конф. «Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбасса» (г. Кемерово, 2007 г.); Междунар. науч. -практич. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». СИБРЕСУРС (г. Кемерово, 2008–2016 гг.); XIII Междунар. науч. симпозиум «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2009 г.); Всерос. конф. с участием иностранных ученых «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» (г. Новосибирск, 2010, 2012 гг.); Всерос. научно-практич. конф. «Россия молодая» (г. Кемерово, 2009–2016 гг.); Междунар. науч.-практ. конф. «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» (г. Кемерово, 2009–2014 гг.); Междунар. науч.-практ. конф.: «Инновации – основа комплексного развития угольной отрасли в регионах России и странах СНГ»; «Перспектива развития Прокопьевско-Киселевского угольного района, как составная часть комплексного инновационного плана моногородов»; «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (г. Прокопьевск, 2009; 2011; 2014, 2016 гг.); Междунар. науч.-практ. конф. «Инновации в технологиях и образовании» (г. Белово, 2014–2016 гг.); Между-

нар. науч.-практ. конф. «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» (г. Междуреченск, 2014, 2015 гг); Междунар. науч.-практ. конф. «Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве» (г. Экибастуз, 2015 г.); Всерос. науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле» (г. Междуреченск, 2016 г.); Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы современного машиностроения» (г. Юрга, 2014, 2015 гг); Междунар. науч.-практ. конф. «Инновации в машиностроении» (г. Кемерово, 2011, 2015 гг); Междунар. науч.-практ. конф. «Западно-Сибирского научного центра» (г. Кемерово 2015, 2016 гг.); Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы развития горно-транспортного оборудования» (г. Москва, 2013 г.); Междунар. науч.-практ. конф. «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.); Междунар. научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2008, 2010–2016 гг); Китайско-российском форуме «Taishan academic forum - project on mine disaster prevention and control» (Qingdao, China, 2014); Российско-китайском симпозиуме «Уголь в XXI веке: добыча, переработка, безопасность» (г. Кемерово, 2016 г.).

Публикации. Основные научные результаты опубликованы в 48 печатных работах, из них 28 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 патент РФ на изобретение, 9 патентов РФ на полезные модели, 3 монографии и 7 публикаций в прочих изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, содержит 167 страниц печатного текста, включая 71 рисунок, 37 таблиц, список литературы из 173 наименований и 2 приложения на 33 страницах.

Автор выражает благодарность за помощь и поддержку, оказанную при работе над диссертацией, д.т.н., проф. Маметьеву Л.Е., к.т.н., доц. Цехину А.М., к.т.н. доц. Воробьеву А.В. (ЮТИ ТПУ) и коллективу кафедры горных машин и комплексов КузГТУ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе представлен обзор условий эксплуатации и объемов проведения горных выработок проходческими комбайнами, раскрыты основные причины выхода из строя резцов, установлены тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса. Произведена оценка результатов исследований параметров разрушения забойных массивов дисковым инструментом и функциональных возможностей существующих конструкций исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия.

В известных исследованиях, недостаточно полно рассмотрены такие взаимосвязи конструктивных, кинематических и силовых параметров, которые бы совмещали процессы разрушения, дробления и погрузки разрушенной породы с возможностью реализации реверсивных режимов работы коронок стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов.

Анализ тенденций формирования парка проходческих комбайнов и опыт их эксплуатации на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» показал на наиболее широкую область применения комбайна КП21 с однокорончатым стреловидным исполнительным органом. Однако его конструктивное исполнение не позволяет реализовать реверсивные режимы работы и эффективную погрузку в прибортовых зонах за столом питателя. В итоге сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе представлено обоснование базовой конструкции исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия по патенту РФ № 2455486 с реализацией реверсивных режимов вращения радиальных коронок при совмещении процессов разрушения забоя, дробления и погрузки горной массы (рисунок 1). Приведены направления совершенствования узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам исполнительных органов. Предложен комплекс оригинальных технических решений по патентам РФ №№: 128898, 134586, 136086, 138704, 141339, 146845, 149617, 152701, 160664.

Разработаны конечно-элементные модели (рисунок 2) для исследования напряженно-деформированного состояния конструктивных вариантов узлов крепления дисковых инструментов к многогранным призмам на исполнительных органах проходческих комбайнов избирательного действия.

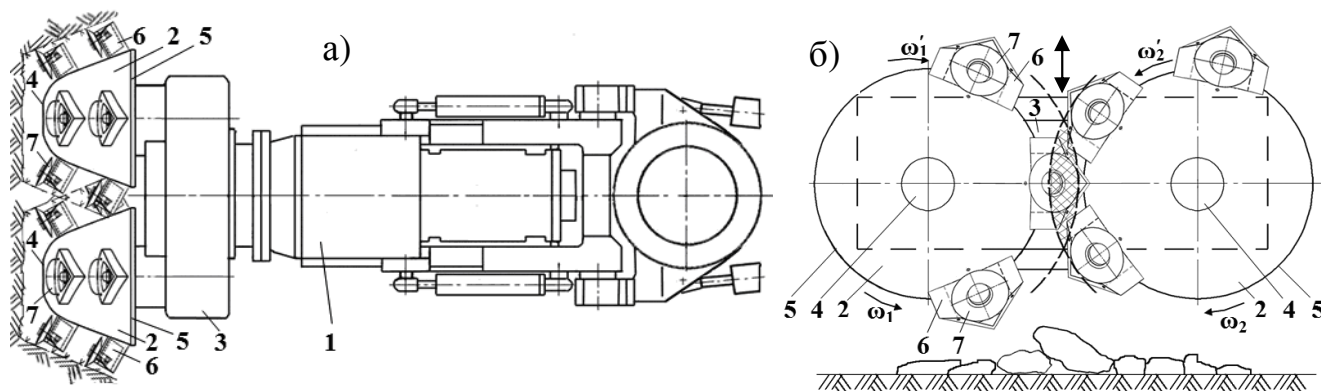


Рисунок 1 – Исполнительный орган с двумя радиальными реверсивными коронами: а) конструктивная схема; б) схема дробления породы; 1 – стрела; 2 – разрушающе-погрузочные коронки; 3 – раздаточный редуктор; 4, 5 – меньшее и большее основание коронок; 6 – трехгранная призма; 7 – дисковый инструмент

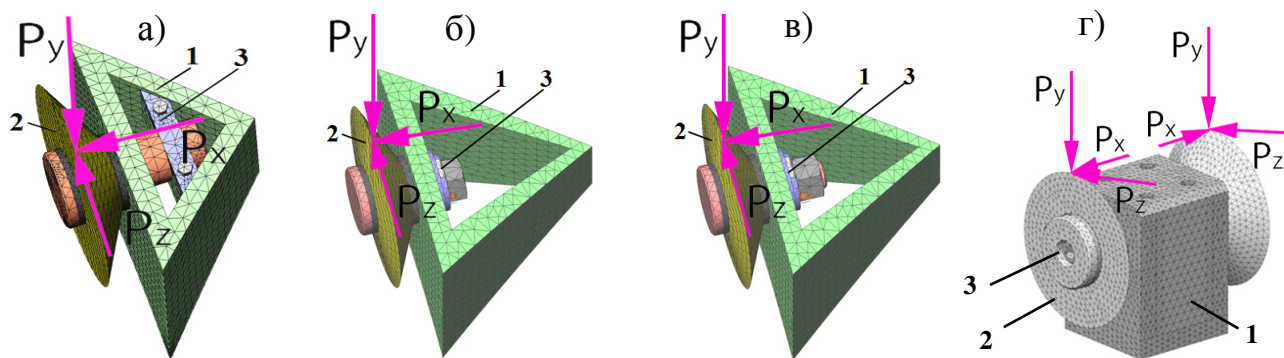


Рисунок 2 – Конечно-элементные модели вариантов конструкций закрепления дискового инструмента к трехгранным (а, б, в) и четырехгранным (г) призмам: а) с планкой-замком; б) с крепежным винтом; в) с гайкой; 1 – призма; 2 – дисковый инструмент; 3 – узел крепления

Произведен расчет усилий резания P_z , внедрения P_y и бокового P_x с учетом характеристик разрушаемых пород ($\sigma_{сж} \geq 50$ МПа), конструктивных и режимных параметров дискового инструмента. В расчетных формулах (1) введены дополнительные параметры, учитывающие консольное крепление дисковых инструментов к трехгранным призмам и расположение их осей к оси вращения реверсивных радиальных коронок. При $\sigma_{сж} \geq 50$ МПа для биконического дискового инструмента справедливы следующие формулы:

$$P_z = R\theta\sqrt{\rho}\sqrt{t_p} \cdot \sin(0,9\theta) \cdot \frac{\sin((\varphi_{1\text{констр.}} - \varphi_k) + (\varphi_{2\text{констр.}} + \varphi_k))}{\cos(\varphi_{2\text{констр.}} + \varphi_k)} \cdot \sigma_{сж} \cdot 2; \quad (1)$$

$$P_y = P_z \cdot \text{ctg}(k\theta); \quad P_x = P_z \cdot \frac{c\lambda b}{R \sin(k\theta)},$$

где P_z , P_y , P_x – усилия, кН; R – радиус дискового инструмента, м; $\theta = \arccos((R-h)/R)$, рад; ρ – радиус кромки притупления дискового инструмента, м; t_p – шаг разрушения, м; h – глубина внедрения, м; b – толщина инструмента, м; $\varphi_{1\text{констр.}}$, $\varphi_{2\text{констр.}}$ – конструктивные передний и задний углы заострения, град; φ_k – угол наклона продольной оси узла крепления дискового инструмента к оси вращения рабочего органа, град (рисунок 3); $k = 0,8$ при $L > h$, $k = 0,5$ при $L = h$; L – высота обнаженной поверхности, м; $0 \leq \lambda \leq 1$ – 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.

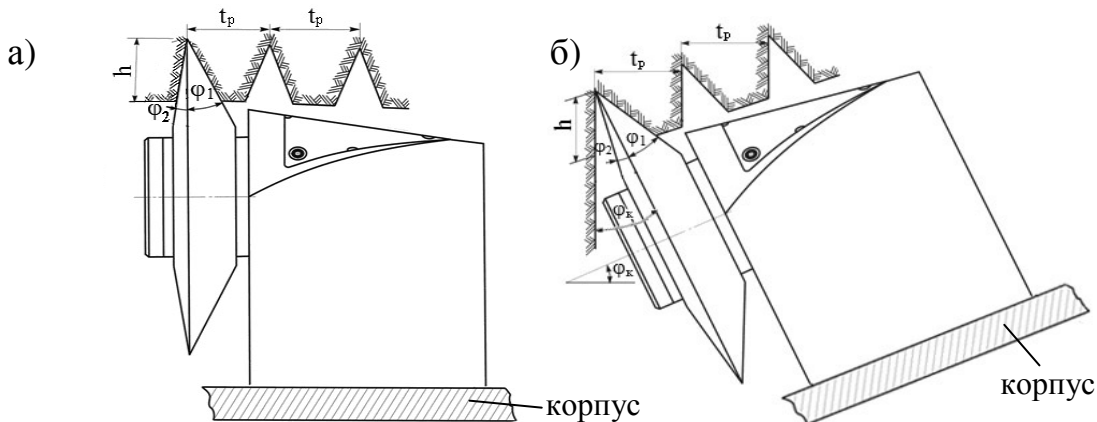


Рисунок 3 – Расположение трехгранной призмы с биконическим дисковым инструментом относительно корпуса рабочего органа комбайна:

а) для барабана при $\varphi_k = 0^\circ$; б) для коронки с $\varphi_k = 10^\circ$ или 18°

Углы заострения дисков следующие: три биконических диска $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$; $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и один конический $\varphi = 30^\circ$.

Рассмотрено влияние угла наклона φ_k (рисунок 3) продольной оси узла крепления дискового инструмента к оси вращения коронки проходческого комбайна, либо барабана комбайна на силовые параметры процесса статического нагружения при разрушении горных пород и формирование рабочих угловых параметров вдавливания дисков в забой. Параметр φ_k назван углом конусности. Получены линейные зависимости усилий P_x , P_y , P_z , от прочности разрушаемого забойного массива $\sigma_{сж}$ (рисунок 4).

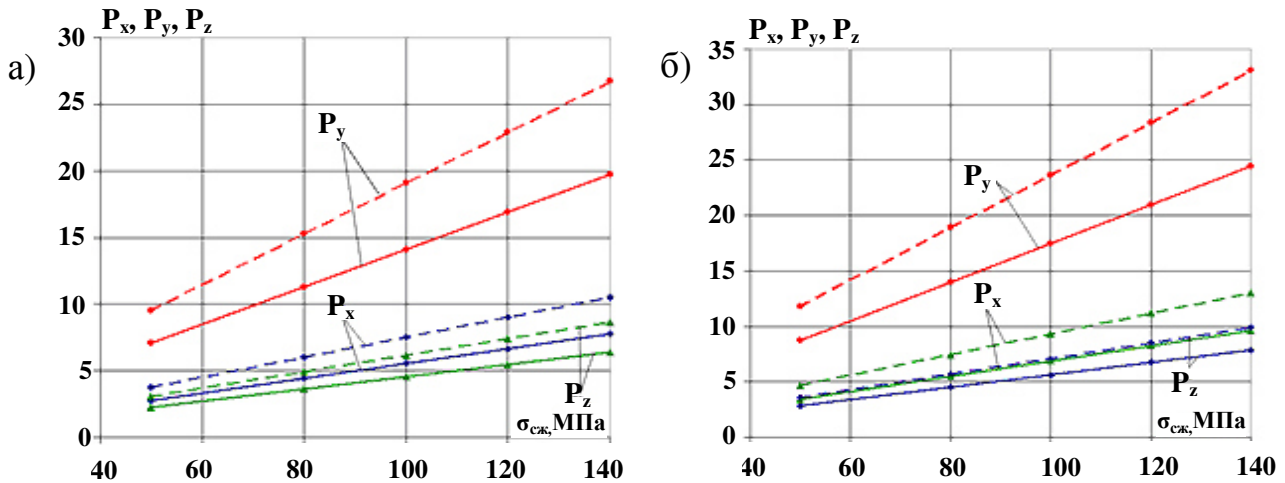


Рисунок 4 – Зависимости усилий P_x, P_y, P_z от прочности разрушаемого забойного массива $\sigma_{сж}$ при $\varphi = 5^\circ+25^\circ$; а) $\varphi_k = 0^\circ$; б) $\varphi_k = 18^\circ$;
 P_x, P_y, P_z – ———— при $t_p = 0,03$ м; P_x, P_y, P_z – - - - - - при $t_p = 0,055$ м

Установлено, что усилия P_x, P_y, P_z прямо пропорционально зависят от прочности разрушаемого забойного массива $\sigma_{сж}$ (от 50 до 140 МПа) при углах наклона φ_k ($0^\circ, 10^\circ$ и 18°) с диапазонами соотношений $P_y = 3,1P_z, P_x = 1,22P_z$ и возрастают как при увеличении шага разрушения t_p от 0,03 м до 0,055 м в 1,35 раза, так и при увеличении угла φ_k от 10° до 18° на: 12 % (для диска 1 с $\varphi = 5^\circ+25^\circ$); 9,9 % (для диска 2 с $\varphi = 10^\circ+20^\circ$); 8 % (для диска 3 с $\varphi = 15^\circ+15^\circ$) и 14,4 % (для диска 4 с $\varphi = 0^\circ+30^\circ$). Усилия P_x, P_y, P_z имеют минимальные значения на биконических дисковых инструментах ($\varphi = 15^\circ+15^\circ$), а максимальные – на конических ($\varphi = 0^\circ+30^\circ$).

В третьей главе рассмотрено напряженно-деформированное состояние вариантов а, б, в, г узлов крепления конструкции дисковых инструментов к многогранным призмам (рисунок 2) на стреловидных исполнительных органах проходческих комбайнов для прогноза уровня нагрузок при разрушении породных забоев с пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ в диапазоне от 12,4 до 140 МПа (рисунки 5–7). Дисковые инструменты имеют следующие углы заострения $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$: 1 – $\varphi = 5^\circ+25^\circ$; 2 – $\varphi = 10^\circ+20^\circ$; 3 – $\varphi = 15^\circ+15^\circ$; 4 – $\varphi = 0^\circ+30^\circ$ (рисунок 5).

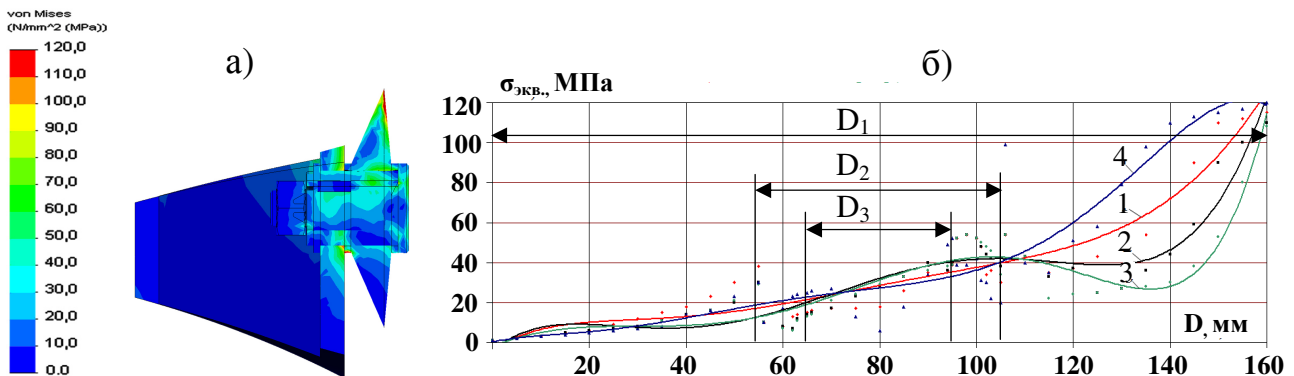


Рисунок 5 – Распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$ по критерию Мизеса в узле крепления биконического дискового инструмента к трехгранной призме: а) картина напряжений для диска ($\varphi = 25^\circ+5^\circ = 30^\circ$) при $\sigma_{сж} = 70$ МПа; б) зависимости $\sigma_{экв}$ от диаметра D сопряженных конструктивных элементов в сечении, проходящем через: D_1 – лезвие диска; D_2 – цапфу; D_3 – ось с буртиком

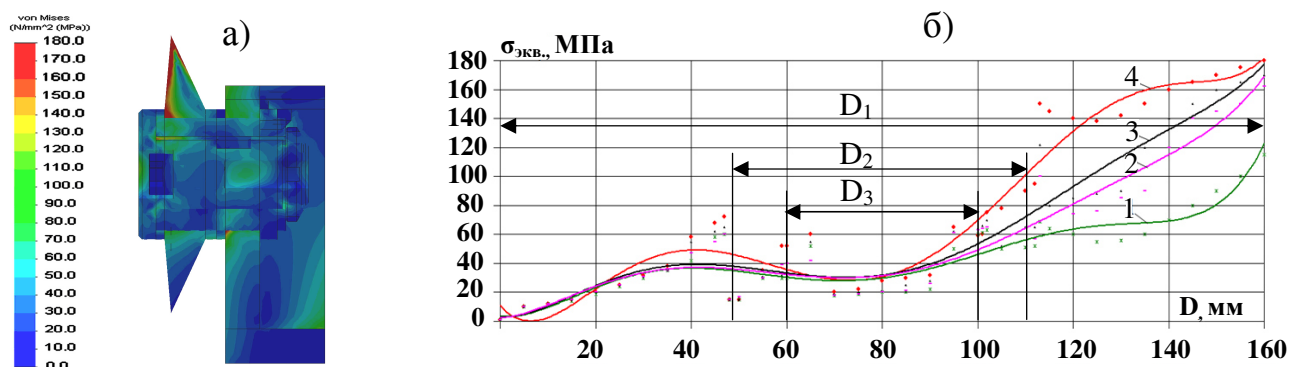


Рисунок 6 – Распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Мизеса в раздельном узле крепления биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$) к четырехгранной призме: а) картина напряжений для диска при $\sigma_{\text{сж}} = 78,9$ МПа; б) зависимости $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопряженных конструктивных элементов в сечении, проходящем через: D_1 – лезвие диска; D_2 – цапфу; D_3 – ось с буртиком; при $\sigma_{\text{сж}}$: 1 – 12,4 МПа; 2 – 51 МПа; 3 – 60,6 МПа; 4 – 78,9 МПа

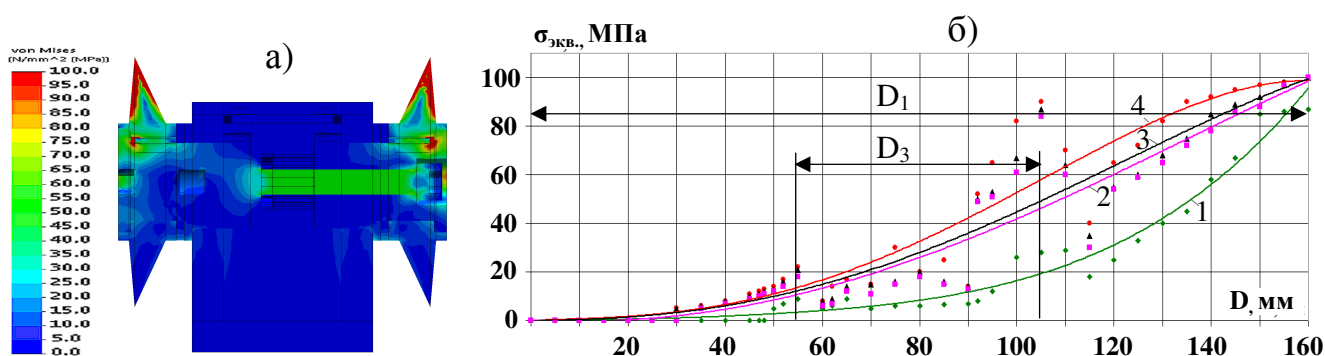


Рисунок 7 – Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Мизеса в узлах крепления спаренного биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$): а) картина напряжений для диска при $\sigma_{\text{сж}} = 78,9$ МПа; б) зависимости $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D сопряженных конструктивных элементов со стороны крепежного винта в сечении, проходящем через: D_1 – лезвие диска; D_3 – ось с буртиком; при $\sigma_{\text{сж}}$: 1 – 12,4 МПа; 2 – 51 МПа; 3 – 60,6 МПа; 4 – 78,9 МПа

Установлено, что во всех конструктивных вариантах узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам отмечен минимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ установкой биконического дискового инструмента ($\varphi = 5^\circ + 25^\circ = 30^\circ$; $10^\circ + 20^\circ = 30^\circ$ и $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$), а максимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ отмечен при использовании конического дискового инструмента ($\varphi = 0^\circ + 30^\circ$). При этом в конструкциях биконического дискового инструмента с изменением 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.

Четвертая глава посвящена исследованиям формирования суммарных усилий и крутящих моментов на реверсивном двухкорончатом исполнительном органе с дисковыми инструментами на трехгранных призмах при разрушении горных пород (рисунки 8–12).

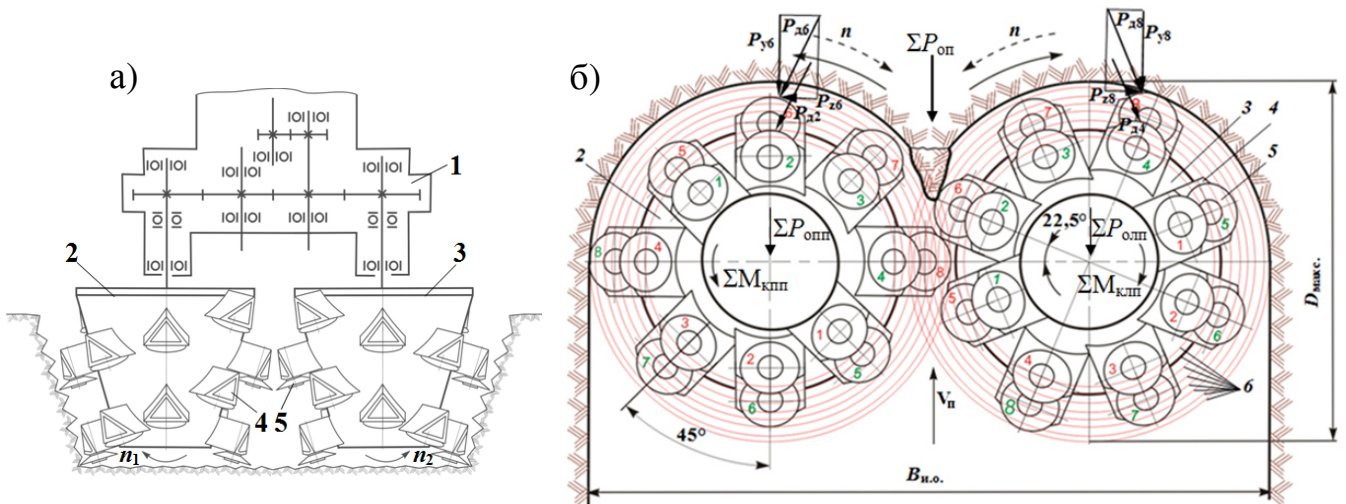


Рисунок 8 – Траектории движения дискового инструмента на трехгранных призмах с пересечением без контакта в центральной зоне проходческого забоя:

а) кинематическая схема; б) схема сил и моментов на коронках исполнительного органа: 1 – раздаточный редуктор; 2 и 3 – правая и левая радиальные коронки; 4 – трехгранная призма; 5 – дисковый инструмент; 6 – семейство линий резания; $B_{и.о.}$ – ширина исполнительного органа; $D_{макс.}$ – максимальный диаметр окружности перемещения кромки диска

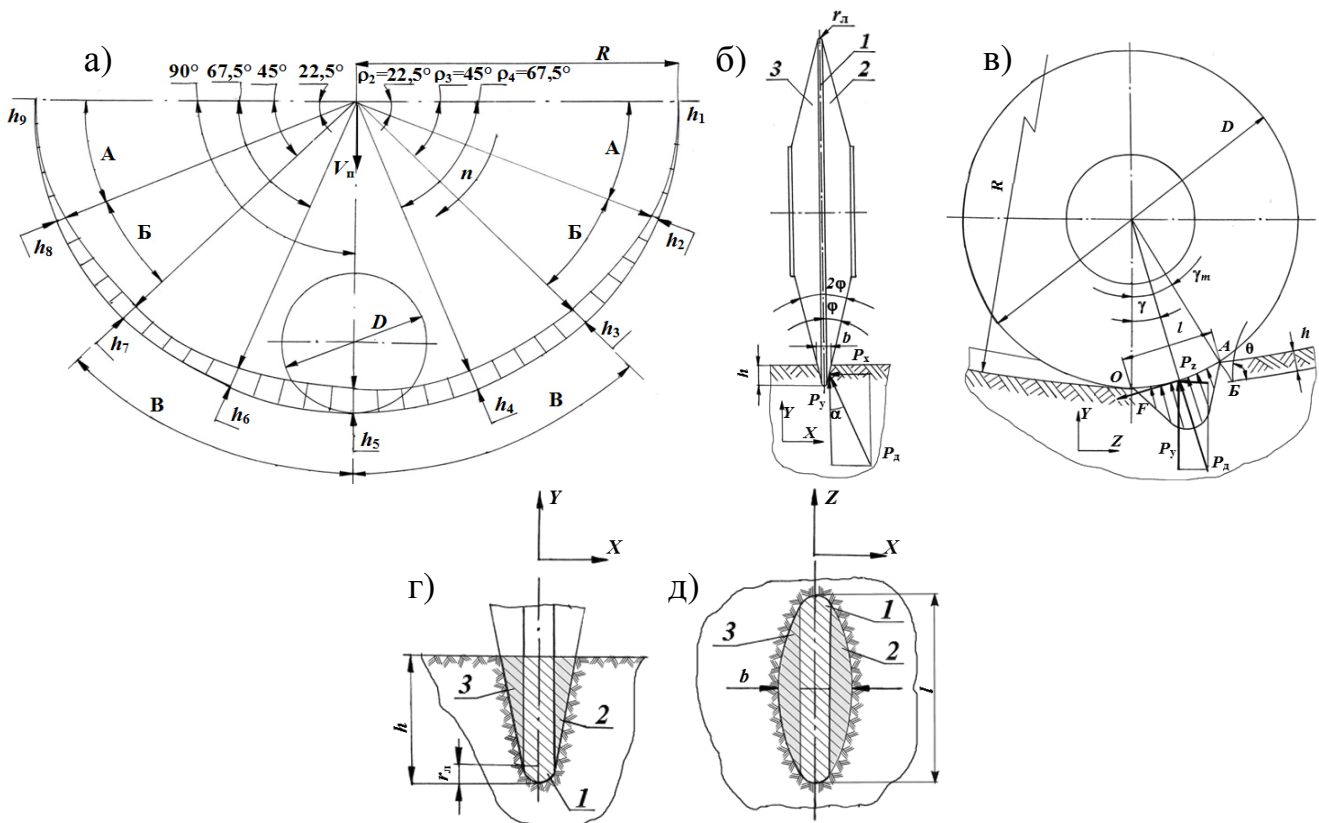


Рисунок 9 – Параметры взаимодействия дискового инструмента с забойным массивом при разрушении радиальными коронками: а) схема формирования глубины h внедрения диска по окружности вращения; б) схема сил в клиновой канавке; в) схема распределения силы по реборде диска в зоне погружения; площади контакта элементов (1,2,3) диска с разрушаемым забойным массивом: г) в плоскости XY; д) в плоскости XZ; лезвие (1), боковые щеки (2, 3)

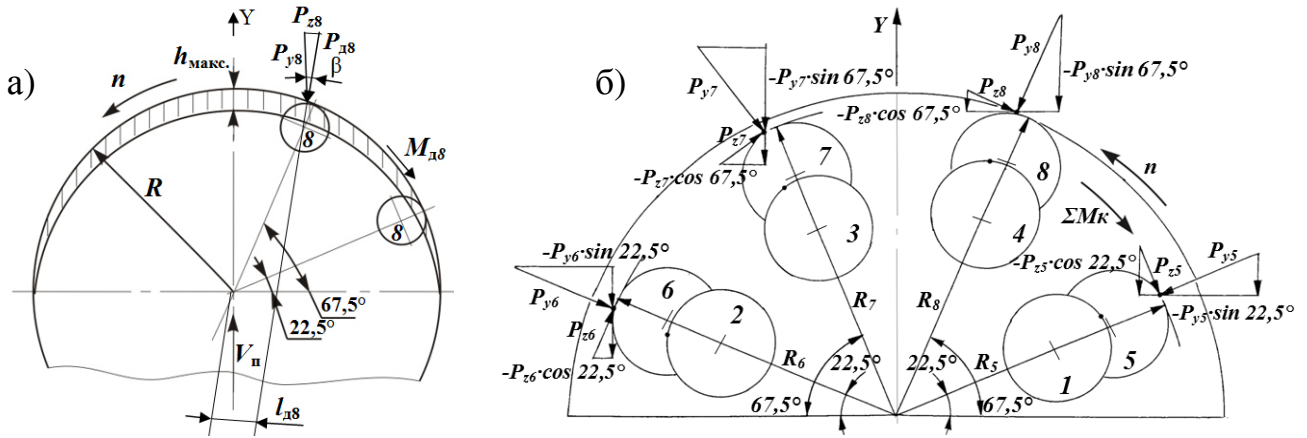


Рисунок 10 – Схема усилий и крутящих моментов при различных положениях левой коронки при ее перемещении снизу вверх: а) усилие P_{y8} , P_{z8} и момент M_{d8} на диске №8; б) усилия P_z , P_y на дисках 1-8

Во время работы дисковый инструмент своей передней частью по дуге ОА внедряется в породу на глубину h (рисунок 9, в). При этом каждая точка его лезвия описывает циклоиду. Путь АБ в контакте с породой за один оборот дискового инструмента определится из выражения:

$$L = 2D(1 - \sqrt{1 - \frac{h}{D}}), \text{ мм}, \quad (2)$$

где D – диаметр дискового инструмента, мм; h – глубина вдавливания дискового инструмента в породу, мм.

Угол входа лезвия в контакт с породой

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \arccos(1 - \frac{2h}{D}), \text{ град.} \quad (3)$$

Расчет площадей контакта дискового инструмента с породой производится по следующим выражениям:

$$S_{XY} = \int_{S_{1XY}} dS_{1XY} + \int_{S_{2XY}} dS_{2XY} + \int_{S_{3XY}} dS_{3XY}, \quad (4)$$

$$S_{XZ} = \int_{S_{4XZ}} dS_{4XZ} + \int_{S_{5XZ}} dS_{5XZ} + \int_{S_{6XZ}} dS_{6XZ}. \quad (5)$$

В результате преобразований и упрощений получены следующие выражения:

$$S_{XY} = 2r_{\text{л}}h + \frac{1}{2}(h - r_{\text{л}})(b - 2r_{\text{л}}), \quad (6)$$

$$S_{XZ} = 2r_{\text{л}}l + \frac{1}{2}(b - 2r_{\text{л}})l. \quad (7)$$

На дисковый инструмент во время перекачивания по забою действует реакция со стороны породы, распределенная по параболической кривой (рисунок 9, в). Равнодействующая P_d распределенных сил расположена под углом γ к оси ОУ и раскладывается на три составляющих P_z , P_y (рисунок 9, в) и P_x (рисунок 9, б).

Сила давления P_d со стороны породы на поверхность контакта S с диском

$$P_d = P_{\text{уд}} \cdot S_{xz} / \cos \gamma, \text{ Н}, \text{ или } P_d = P_{\text{уд}} \cdot S_{xy} / \sin \gamma, \text{ Н} \quad (8)$$

где $P_{\text{уд}} = A P_k K_{\text{ht}} K_{\text{LN}}$ – удельное давление, МПа; P_k – контактная прочность породы, МПа; $A = 0,38$ – экспериментальный коэффициент равный отношению значе-

ний сопротивления породы вдавливанию дискового инструмента и контактной прочности породы; $K_{ht} = \frac{0,9}{\sqrt{h}} + (0,008h + 0,01) \frac{t}{h}$ – коэффициент, учитывающий соотношение параметров разрушения породы h и t ; h и t – глубина вдавливания и шаг разрушения породы, мм; K_{LH} – коэффициент, учитывающий схему работы дискового инструмента

$$K_{\text{LH}} = \sqrt{\cos\left(\arctg \frac{L}{H}\right)}, \quad (9)$$

L – длина уступа, мм; Н – ширина уступа, мм

Значения сил перекачивания P_z , подачи на забой P_y и боковой составляющей P_x определялись из выражений (рисунок 9, б, в):

$$P_z = P_{\perp} \sin\gamma; P_y = P_{\perp} \cos\gamma; P_x = P_{\perp} \cos\gamma \sin\alpha \quad (10)$$

Сила трения качения дискового инструмента по породе (рисунок 9, в) определится по формуле $F = \mu_k P_d$, Н, (11)

где $\mu_k = 0,045$ – коэффициент трения качения.

В периферийных зонах А (рисунок 9, а) глубина внедрения изменяется в интервале от $0,1 h_{\max}$ до $0,3 h_{\max}$ в средних зонах Б – от $0,3 h_{\max}$ до $0,6 h_{\max}$ и в центральных зонах В – от $0,6 h_{\max}$ до $h_{\max}$.

Максимальное значение глубины поверхности внедрения $h_{\text{макс}}$ дискового инструмента в забойный массив определяется по формуле.

$$h_{\max} = \frac{100v_n}{n - m_n}, \text{ cM}, \quad (12)$$

где $v_{\text{п}}$ – скорость перемещения коронки по поверхности забоя, м/мин; n – частота вращения коронки, мин^{-1} ; $m_{\text{д}}$ – количество дисковых инструментов в линии резания.

На рисунке 10, а представлена расчетная схема для определения осевых усилий P_{y8} , P_{d8} и крутящих моментов M_{d8} на условно фиксированных положениях угловых поворотов левой коронки при перемещении ее вверх и повороте дискового инструмента № 8 на угол $22,5^\circ$ и $67,5^\circ$. На рисунке 10, б приведена схема действия сил на дисковые инструменты № 6, 2, 7, 3, 8, 4, 5, 1 первой спирали левой коронки при ее перемещении снизу вверх.

При взаимодействии коронки с породой на нее действует внешняя нагрузка в виде суммарных усилий $\Sigma P_{\text{опп}}$, $\Sigma P_{\text{олп}}$, $\Sigma P_{\text{опо}}$, $\Sigma P_{\text{оло}}$ и суммарных моментов $\Sigma M_{\text{кпп}}$, $\Sigma M_{\text{клп}}$, $\Sigma M_{\text{кпо}}$, $\Sigma M_{\text{кло}}$ (рисунок 11).

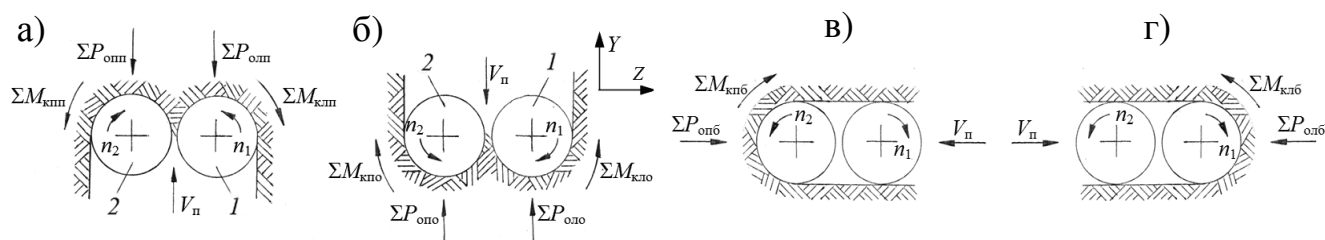


Рисунок 11 – Схемы суммарных осевых сил и крутящих моментов в плоскости вращения двухкорончатого рабочего органа: а, б) при подъеме и опускании стрелы; в, г) при боковом перемещении стрелы; 1, 2 – левая и правая коронки

Усилие ΣP_{yi} определяется из выражения:

$$\Sigma P_{yi} = P_{y1} + P_{y2} + P_{y3} + P_{y4} + P_{y5} + P_{y6} + P_{y7} + P_{y8}, \text{ кН} \quad (13)$$

где $P_{y1}-P_{y8}$ проекции на ось Y усилий (рисунки 10, б), действующих со стороны породы на диски № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (положения № 1–4 поворота коронок на угол ρ от 0° до 180° при контакте восьми дисков с породой $P_k = 860$ МПа).

Для схемы на рисунке 10, б получены следующие расчетные выражения:

$$P_{y6} = -P_{y6} \sin 22,5^\circ - P_{z6} \cos 22,5^\circ; \quad P_{y7} = -P_{y7} \sin 67,5^\circ - P_{z7} \cos 67,5^\circ;$$

$$P_{y8} = -P_{y8} \sin 67,5^\circ - P_{z8} \cos 67,5^\circ; \quad P_{y5} = -P_{y5} \sin 22,5^\circ - P_{z5} \cos 22,5^\circ;$$

$$P_{y2} = -P_{y2} \sin 22,5^\circ - P_{z2} \cos 22,5^\circ; \quad P_{y3} = -P_{y3} \sin 67,5^\circ - P_{z3} \cos 67,5^\circ;$$

$$P_{y4} = -P_{y4} \sin 67,5^\circ - P_{z4} \cos 67,5^\circ; \quad P_{y1} = -P_{y1} \sin 22,5^\circ - P_{z1} \cos 22,5^\circ.$$

На рисунке 12, а приведены зависимости суммарных осевых усилий $\Sigma P_{yi} = f(\rho)$, действующих на все дисковые инструменты левой коронки исполнительного органа (рисунки 8, б, 10, а) при их повороте на все 8 положений, на 360° . В частности, осевое усилие на дисковом инструменте № 8 (рисунок 10, а) определялось из выражения

$$P_{y8} = P_{d8} \cos \beta, \text{ кН}, \quad (14)$$

где P_{d8} – равнодействующая распределенных сил на дисковом инструменте № 8; β – угол между векторами P_{d8} и P_{y8} .

Например, зависимость суммарных усилий от угла поворота $\Sigma P_{yi} = f(\rho)$ на левой коронке при движении вверх ($P_k = 860$ МПа)

$$\Sigma P_{yi} = 0,8281\rho^5 - 18,042\rho^4 + 145,62\rho^3 - 537,59\rho^2 + 885,67\rho - 138,25.$$

На рисунке 12, б приведены зависимости $\Sigma M_k = f(\rho)$, действующих на все дисковые инструменты левой коронки исполнительного органа (рисунки 8, б, 10, а) при их повороте на все 8 положений, на 360° .

$$\Sigma M_k = M_{d1} + M_{d2} + M_{d3} + M_{d4} + M_{d5} + M_{d6} + M_{d7} + M_{d8}, \text{ Н·м} \quad (15)$$

В частности, момент на дисковом инструменте № 8 определялся

$$M_{d8} = P_{d8} \ell_{d8}, \text{ Н·м}, \quad (16)$$

где P_{d8} – равнодействующая распределенных сил на дисковом инструменте № 8;

ℓ_{d8} – плечо силы P_{d8} относительно оси дискового инструмента (рисунок 10, а), м.

Например, зависимость суммарных крутящих моментов от угла поворота $\Sigma M_k = f(\rho)$ на левой коронке при движении вверх ($P_k = 860$ МПа)

$$\Sigma M_k = 30,579\rho^5 - 642,61\rho^4 + 4747,4\rho^3 - 14652\rho^2 + 16876\rho + 35047.$$

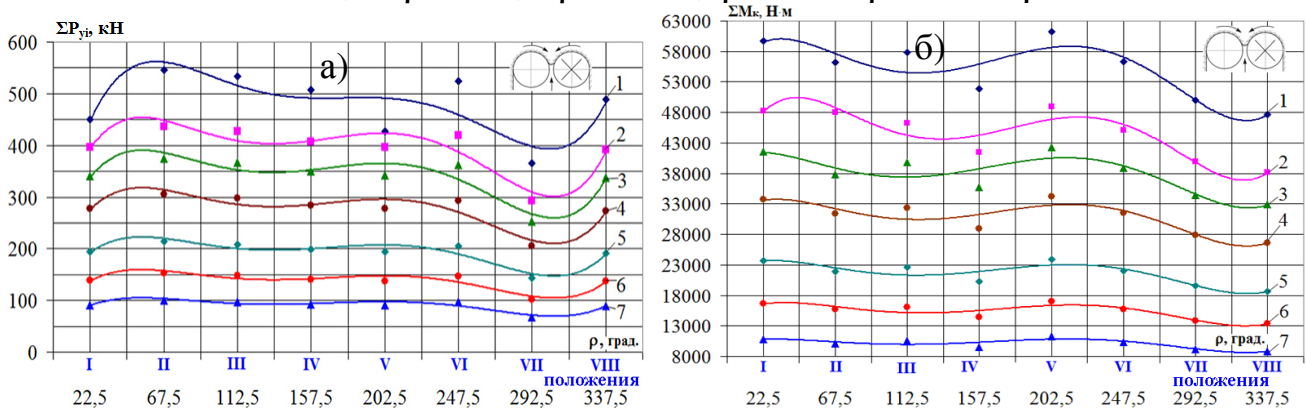


Рисунок 12 – Зависимости усилий ΣP_{yi} (а) и моментов ΣM_k (б) от угла поворота ρ на левой коронке при движении вверх (1 – $P_k = 1250$ МПа; 2 – $P_k = 1000$ МПа; 3 – $P_k = 860$ МПа; 4 – $P_k = 700$ МПа; 5 – $P_k = 490$ МПа; 6 – $P_k = 350$ МПа; 7 – $P_k = 230$ МПа)

Установлено, что зависимости усилий и моментов на дисковом инструменте от контактной прочности P_k носят линейный характер. Зависимости суммарных усилий ΣP_{yi} и моментов ΣM_k от угла поворота ρ на коронках, учитывающие периодичность входа и выхода дисковых инструментов из контакта с породой при фиксированных положениях поворота коронок на угол ρ от 0° до 360° описываются полиномиальными зависимостями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе обоснованы и исследованы новые технические решения по разработке двухкорончатого стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна с дисковым инструментом на многогранных призмах для проведения выработок в структурно-неоднородных горных породах, имеющие существенное значение для горного машиностроения.

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Обоснованы технические решения по совершенствованию и выбору конструктивных, кинематических и силовых параметров консольных узлов крепления дискового инструмента на многогранных призмах для совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки горных пород при реверсивных режимах работы двухкорончатого стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна.

2. Установлено, что усилия боковые P_x , подачи P_y и перекатывания P_z на отдельных дисковых инструментах прямо пропорционально зависят от прочности разрушаемого забойного массива $\sigma_{сж}$ (от 50 до 140 МПа) и при углах наклона продольной оси узла крепления дискового инструмента к оси вращения коронки φ_k (0° , 10° и 18°) соотносятся друг к другу $P_y = 3,1P_z$, $P_x = 1,22P_z$ и возрастают как при увеличении шага разрушения t_p от 0,03 м до 0,055 м в 1,35 раза, так и при увеличении угла φ_k от 10° до 18° на: 12 % (для диска 1 с $\varphi = 5^\circ + 25^\circ$); 9,9 % (для диска 2 с $\varphi = 10^\circ + 20^\circ$); 8 % (для диска 3 с $\varphi = 15^\circ + 15^\circ$) и 14,4 % (для диска 4 с $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$), имеют минимальные значения на биконическом дисковом инструменте ($\varphi = 15^\circ + 15^\circ$), а максимальные – на коническом ($\varphi = 0^\circ + 30^\circ$).

3. Определены зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ на отдельном дисковом инструменте с консольными узлами крепления к многогранной призме от прочности горных пород, которые описываются полиномами шестой степени для трехгранных и четырехгранных призм с отдельными дисками, и четвертой степени для спаренных дисков на четырехгранных призмах.

4. Выявлены зоны максимальных эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$, которые для консольных узлов крепления отдельного дискового инструмента к трехгранным призмам составляют 120 МПа, к четырехгранным призмам составляют 180 МПа при отдельном креплении двух дисков и 100 МПа при спаренном креплении двух дисков со смещением зон концентраций к кромкам дисков, поверхностям граней призм, обращенным в зону контакта с забойным массивом, местам расположения шпоночных и шлицевых соединений.

5. Установлено, что зависимости усилий P_y , P_z и моментов M_k на отдельных дисковых инструментах от контактной прочности P_k носят прямолинейный характер, а зависимости моментов M_k от угла ρ фиксированных положений поворота

коронки описываются полиномами третьей степени для левой коронки и полиномами шестой, четвертой степени для правой коронки.

6. Определено, что зависимости суммарных усилий ΣP_{yi} и крутящих моментов ΣM_k на отдельных коронках двухкорончатого стреловидного исполнительного органа от угла ρ фиксированных положений поворота коронки описываются полиномами пятой степени с учетом периодичности входа и выхода дисковых инструментов из контакта с породой и реверсивных режимов работы.

Направления дальнейших исследований:

- обосновать технологические и технические решения для снижения энергоемкости процессов забуривания или зарубки радиальных коронки с дисковым инструментом в забой с широким диапазоном прочности горных пород;

- исследовать параметры процессов дробления горных пород и погрузки разрушенной массы на стол питателя проходческого комбайна двухкорончатым стреловидным исполнительным органом в прибортовых коридорах подземной выработки.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Хорешок, А.А. Совершенствование конструкций исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, В.В. Кузнецов, **А.Ю. Борисов** // Горные машины и автоматика. – 2002. – № 9. – С. 22–26.

2. Хорешок, А.А. О состоянии и развитии проходческих комбайнов избирательного действия на шахтах Кузбасса / А.А. Хорешок, **А.Ю. Борисов** // Горное оборудование и электромеханика. – 2006. – № 11. – С. 42–45.

3. Хорешок, А. А. Обоснование геометрических параметров дискового инструмента для исполнительных органов проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, В.В. Кузнецов, **А.Ю. Борисов** // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 2. – С. 11–13.

4. Хорешок, А.А. Систематизация узлов проходческого комбайна СМ-130К по наработкам / А.А. Хорешок, В.В. Кузнецов, **А.Ю. Борисов**, Ю.В. Дрозденко, Е.В. Прейс, В.Е. Рябов // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 3. – С. 11–14.

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

6. Хорешок, А.А. Совершенствование конструкции продольно-осевых коронки проходческого комбайна избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, **А.Ю. Борисов**, С.Г. Мухортиков // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 5. – С. 2–6.

7. Хорешок, А.А. 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.

8. Хорешок, А.А. Прогнозирование максимального объема разрушенного материала дисковым инструментом / А.А. Хорешок, В.В. Кузнецов, **А.Ю. Борисов** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 9. – С. 299–304.

9. 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.

10. Хорешок, А.А. Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, **А.Ю. Борисов** // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 2–5.

11. Нестеров, В.И. Функциональные возможности двухкорончатого исполнительного органа проходческого комбайна с трехгранными призмами и дисковыми инструментами / В.И. Нестеров, Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, **А.Ю. Борисов**, С.Г. Мухортиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. Горное машиностроение – 2012. – ОВ №3. – С. 15–24.

12. 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 // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 6. – С. 34–40.

13. Хорешок, А.А. Разработка узлов крепления дискового инструмента к рабочим органам проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, **А.Ю. Борисов**, С.Г. Мухортиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. Промышленная безопасность и охрана труда. – 2012. – ОВ №6. – С. 28–36.

14. Маметьев, Л.Е. Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса / Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, **А.Ю. Борисов** // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 2. – С. 14–16.

15. Маметьев, Л.Е. Напряженное состояние узлов крепления дискового инструмента в трехгранных призмах радиальных коронок / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, **А.Ю. Борисов**, А.В. Воробьев // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 2. – С. 22–25.

16. 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.

17. 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 // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 1. – С. 3–5.

18. Маметьев, Л.Е. Разработка устройства пылеподавления для реверсивных коронок проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, **А.Ю. Борисов** // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 3. – С. 17–21.

19. Маметьев, Л.Е. Улучшение процессов монтажа и демонтажа узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, **А.Ю. Борисов** // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 4. – С. 23–26.

20. Маметьев, Л.Е. Направление повышения зарубной способности исполнительных органов проходческих комбайнов с аксиальными коронками / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, **А.Ю. Борисов** // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 5. – С. 21–24.

21. 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.

22. 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.

23. **Борисов, А.Ю.** Напряжения в сопрягаемых элементах дисковых инструментов при разрушении проходческих забоев / **А.Ю. Борисов**, Л.Е. Маметьев // Вестник КузГТУ. – 2015. – №4. – С. 26–35.

24. Хорешок, А.А. Выбор технологических схем и оборудования для отработки угольных пластов на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс" / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.И. Нестеров, **А.Ю. Борисов** // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 5. – С. 3–10.

25. Хорешок, А.А. Основные этапы разработки и моделирования параметров дискового инструмента проходческих и очистных горных машин / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.И. Нестеров, **А.Ю. Борисов** // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 7. – С. 9–16.

26. Маметьев, Л.Е. Распределение напряжений между деталями узлов крепления дисковых инструментов при разрушении проходческих забоев / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, **А.Ю. Борисов** // ФТПРПИ. – 2015. – № 6. – С. 93–100.

27. Хорешок, А.А. Формирование нагруженности реверсивных коронок с дисковым инструментом на трехгранных призмах / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, **А.Ю. Борисов** // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 4. – С. 3–10.

28. **Борисов, А.Ю.** Влияние формы корпуса рабочего органа горного комбайна на нагруженность дискового инструмента / **А.Ю. Борисов**, А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 6. – С. 30–37.

Патенты РФ

29. Исполнительный орган проходческого комбайна : пат. 2455486 РФ на изобретение: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01) / 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.

30. Узел крепления дискового инструмента в трехгранной призме : пат. 128898 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 27/00 (2006.01) / 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.

31. Устройство для защиты внутреннего пространства трехгранной призмы от продуктов разрушения : пат. 134586 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 27/00 (2006.01) / 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.

32. Исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия : пат. 136086 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01) / 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.

33. Устройство пылеподавления для дискового инструмента на трехгранной призме : пат. 138704 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 35/22, Е 21 F 5/04 (2006.01) / 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.

34. Узел крепления дискового инструмента на рабочем органе горного комбайна : пат. 141339 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 27/00 (2006.01) / 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.

35. Дисковый инструмент проходческого комбайна: пат. 146845 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01) / 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.

36. Исполнительный орган выемочной горной машины : пат. 149617 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., **Борисов А.Ю.** ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014135060/03 ; заявл. 26.08.2014 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. – 2 с.

37. Исполнительный орган выемочно-проходческой горной машины : пат. 152701 РФ на полезную модель: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., **Борисов А.Ю.** ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014144633/03 ; заявл. 05.11.2014 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16. – 3 с.

38. Расширитель скважин обратного хода : пат. 160664 РФ на полезную модель: МПК Е 21 В 7/28, Е 21 D 3/00 (2006.01) / Цехин А.М., Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., **Борисов А.Ю.** ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2015135343/03 ; заявл. 20.08.2015 ; опубл. 27.03.2016, Бюл. № 9. – 2 с.

Монографии

39. Хорешок, А.А. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, **А.Ю. Борисов**, П.В. Бурков, С.П. Буркова, П.Д. Крестовоздвиженский ; Юрг. технолог. ин-т – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. – 296 с.

40. Хорешок, А.А. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 1. Опыт производства и развития : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Ма-

метьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герики, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, **А.Ю. Борисов**; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 213 с.

41. Хорешок, А.А. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 2. Эксплуатация и диагностика : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герики, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, **А.Ю. Борисов**; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 281 с.

Статьи в прочих изданиях

42. Khoreshok A. Stress-deformed state knots fastening of a disk tool on the crowns of roadheaders / A. Khoreshok, L. Mametyev, **A. Borisov**, A. Vorobiev // Taishan academic forum-project on mine disaster prevention and control. Chinese coal in the XXI century: Mining, green and safety. – Qingdao, China, October 17-20, 2014, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2014. p. 177–183.

43. Khoreshok A.A. Influence the design of the modular blocks with disk tool on the stress distribution at the destruction of the coalfaces / A.A. Khoreshok, L.E. Mametyev, **A.Yu. Borisov** // MINER'S WEEK – 2015 REPORTS OF THE XXIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC SYMPOSIUM. 2015. p. 482–491.

44. Khoreshok A.A. Finite element models of disk tools with attachment points on triangular prisms / A.A. Khoreshok, L.E. Mametev, **A.Yu. Borisov**, A.V. Vorobev // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 770. p. 429–433.

45. Khoreshok A.A. Stress state of disk tool attachment points on tetrahedral prisms between axial bits / A.A. Khoreshok, L.E. Mametev, **A.Yu. Borisov**, A.V. Vorobev // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 770. p. 434–438.

46. Khoreshok A.A. The distribution of stresses and strains in the mating elements disk tools working bodies of roadheaders / A.A. Khoreshok, L.E. Mametyev, **A.Yu. Borisov**, A.V. Vorobyev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. V. 91. p. 012084.

47. Khoreshok A.A. Influence of the rigid connection between discs in the tetrahedral prisms on equivalent stresses when cutting work faces / A.A. Khoreshok, L.E. Mametyev, **A.Yu. Borisov**, A.V. Vorobyev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 127. p. 012039.

48. Mametyev L.E. The power characteristics of the reversible radial crowns with disk tools for roadheaders of selective action / L.E. Mametyev, A.A. Khoreshok, A.M. Tsekhin, S.G. Mukhortikov, **A.Yu. Borisov** // The 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. – Kemerovo, Russia, October 10-12, 2016, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2016. p. 233–238.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве:

[1–41] – проведение основного объема исследований, разработка теоретических положений, обработка результатов, разработка инновационных технических решений;

[12], [15–17], [23], [25–28], [42–48] – обоснование модели напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов дискового инструмента на многогранных призмах двухкорончатых стреловидных исполнительных органах при статическом нагружении.

Подписано к печати 22.12.2016 г. Формат 60х84/16
Уч.-изд. л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ_____

Отпечатано в издательском центре УИП КузГТУ.
650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.