

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Борисова Андрея Юрьевича «Разработка двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – «Горные машины»

На рецензию представлена рукопись диссертационной работы полным объемом 167 с. машинописного текста, в том числе 71 рисунок, 37 таблиц, 2 приложения и библиография из 173 наименований. Работа содержит введение, 4 основных раздела и заключение.

1. Актуальность избранной темы

В диссертационной работе представлены результаты исследований, направленных на совершенствование конструкции исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия, позволяющие повысить эффективность процессов разрушения горных пород, в том числе структурно-неоднородных, при проведении подземных горных выработок. Требования добывающих компаний к проходческим комбайнам постоянно растут. Во всех ведущих добывающих странах мира до 80 % выработок проводится проходческими комбайнами без использования буровзрывных работ. Экономика России также диктует необходимость применения максимально эффективных конструкций комбайнов, спроектированных под конкретные горно-геологические условия шахт и выполненных на уровне лучших зарубежных аналогов.

Как известно, в этом инновационном направлении на кафедре «Горных машин и комплексов» КузГТУ в течение ряда лет развиваются наукоемкие направления по исследованию, патентованию, разработке и проектированию исполнительных органов горных машин, в том числе двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом на многогранных призмах.

Работы по исследованию и созданию исполнительных органов горных машин – добычных и проходческих комбайнов, оснащенных дисковым инструментом, ведутся с 50-х годов прошлого столетия в ИГД им. А.А. Скочинского, ведущих горных вузах нашей страны. Установлено, что дисковый инструмент по сравнению с резцами имеет более высокие прочностные показатели, лучшие показатели износостойкости и меньшее пылеобразование.

Известен опыт производственных исследований, проведенных кафедрой горных машин и комплексов КузГТУ, по разрушению пород выше средней крепости при использовании дисковых инструментов с двухпорными узлами крепления на рабочих органах проходческих комбайнов. Было установлено, что дисковый инструмент наряду с более высокими рабочими качествами обладает рядом недостатков, к числу которых при работе в качестве конструктивного элемента радиальных коронок исполнительного органа относятся: высокая вероятность заштыбовки межопорных пространств узлов крепления дискового инструмента продуктами разрушения с последующим его заклиниванием, реализация процесса погрузки только при одностороннем направлении вращения, а также повышенная трудоемкость монтажа и демонтажа узлов крепления дискового инструмента.

Анализ состояния вопроса, выполненный автором диссертационной работы, показал, что в настоящее время использование дисковых инструментов на исполнительных органах проходческих комбайнов избирательного действия является малоизученным вопросом и требует проведения специальных исследований по совершенствованию конструкций исполнительных органов и узлов крепления дисков к рабочим органам. Необходимо также более глубоко исследовать совмещение процессов разрушения, дробления и погрузки горных пород при реверсивных режимах работы, что позволит расширить область применения проходческих комбайнов с проведением горных выработок в структурно-неоднородных горных породах. Решению этой актуальной научно-технической задачи и посвящена рецензируемая работа.

Достоинством диссертационной работы, подтверждающим ее актуальность, является то, что она 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».

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, сформулированные в диссертации, сводятся к следующим утверждениям:

- во-первых, 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;

- во-вторых, 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;

- в третьих, 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.

В качестве аргументов, подтверждающих и обосновывающих *первое научное положение* отметим следующее.

Во-первых, как ранее показано, в качестве объекта исследования в диссертационной работе рассмотрен двухкорончатый стреловидный исполнительный орган проходческого комбайна с дисковыми инструментами. Для данного исполнительного органа при

непосредственном участии автора разработаны оригинальные варианты конструкций консольных узлов крепления дисковых инструментов к забойным граням многогранных призм. Разработки таких технических решений потребовали проведения патентного поиска по компоновочным схемам рабочих органов и применению дисковых инструментов на рабочих органах горных машин. Также учтены результаты производственных исследований, проведенные на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ, в которых на экспериментальных рабочих органах проходческих комбайнов закреплялся дисковый инструмент между двумя кронштейнами. Это позволило выявить ряд недостатков конструкции крепления и стимулировало работы по дальнейшему совершенствованию конструкции.

Результатом этих исследований, патентного поиска и анализа вариантов конструкций стал предложенный при непосредственном участии автора двухкорончатый исполнительный орган с оригинальными консольными узлами крепления дисковых инструментов на трехгранных призмах радиальных коронок, кинематически связанных между собой с перекрытием траектории движения в центральной зоне. Это, как показано в диссертации, позволяет при обработке забоя совместить процессы разрушения, дробления и погрузки горной массы при реверсивных режимах работы. При этом конструкция двухкорончатого исполнительного органа может быть выполнена по двум вариантам: в виде радиальных коронок с жестким креплением трехгранных призм на корпусе; в виде многогранной пирамиды со съемным креплением трехгранных призм на корпусе коронок при использовании зубчатых замков. Что позволяет изменять схемы набора по параметрам шага разрушения и количества дисков в линии.

Для разрушения целиков и повышения эффективности процесса зарубки исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия с аксиальными коронками, предложено в межкорончатом пространстве размещать дисковые инструменты на четырехгранных призмах.

Во-вторых, для отобранных вариантов проведено обоснование и составление расчетной схемы для определения усилий при разрушении забоев дисковым инструментом различного конструктивного исполнения для условий временного сопротивления пород на сжатие в диапазоне $50 \geq \sigma_{сж} \geq 50$ МПа.

Полученные расчетные усилия P_x , P_y , P_z с учетом биконичности дискового инструмента ($\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 30^\circ$) и углов наклона ($\varphi_k = 0^\circ; 10^\circ; 18^\circ$) продольных осей дисков к осям вращения коронок были приложены к построенным конечно-элементным моделям данных дисковых инструментов с консольными узлами крепления к трехгранным и четырехгранным призмам. С использованием 3D-моделирования программным комплексом SolidWorks Simulation получено напряженно-деформированное состояние для вариантов консольных узлов крепления дисковых инструментов к многогранным призмам с последующей сравнительной оценкой конструкций и выбором наилучшей для дальнейшего совершенствования. При этом минимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ при разрушении забойных массивов отмечен для 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 $\sigma_{экр}$ 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.

Установлены и аппроксимированы соответствующие зависимости, на основе которых получены рациональные значения параметров, обеспечивающих выбор углов биконичности дисков ($\varphi = \varphi_1+\varphi_2 = 30^\circ$) и углов наклона ($\varphi_k = 0^\circ; 10^\circ; 18^\circ$) продольных осей дисков к осям вращения коронок с учетом шага разрушения t_p .

Таким образом, первое научное положение можно признать доказанным и обоснованным по совокупности рационально выбранных к исследованию вариантов технических решений и результатов многофакторного моделирования усилий разрушения горных пород и напряженно-деформированного состояния узлов крепления дисковых инструментов.

Второе научное положение основано на выявленной автором в процессе аналитических исследований и компьютерного моделирования принципиальной работоспособности двухкорончатого стреловидного исполнительного органа с учетом влияния кинематических и конструктивных факторов. Прежде всего, установлены главная совокупность конструктивных и кинематических факторов, от которых зависят усилия разрушения и крутящие моменты на отдельных коронках, а также свойства разрушаемых горных пород. К ним отнесены радиусы 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 параметры прочности горных пород. Установлены зависимости силовых характеристик процесса взаимодействия дискового инструмента от перечисленной совокупности влияющих факторов, что и является сущностью второго научного положения, обоснованного в результате теоретических исследований и компьютерного моделирования.

Третье научное положение рассматривает особенности процесса формирования суммарных усилий и крутящих моментов на отдельных коронках двухкорончатого стреловидного исполнительного органа с консольными узлами крепления дисков к трехгранным призмам в режиме совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки горной массы, включая прибортовые коридоры. Исследованиями установлено, что эти усилия зависят от направлений взаимного вращения коронок при условии бесконтактного пересечения траекторий движения в центральной зоне и перемещения стрелы в призабойном пространстве проходческой горной выработки. При этом установлено условие бесконтактного режима вращения трехгранных призм с дисковыми инструментами в центральной зоне: относительный угловой сдвиг в зоне выступов и впадин должен составлять 22,5 градуса.

Обоснованность научных результатов, сформулированных во втором и третьем научных положениях, подтверждается также тем, что составляющие усилий перекачивания P_z и усилия вдавливания P_y в координатах точек приложения равнодействующих сил в зоне контактов дисковых инструментов с породой забоя определялись по известной методике, представленной в ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и

расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. – М.: Минуглепром СССР, 1984.

С необходимым обоснованием построена схема приложения составляющих усилий P_z , P_y при разрушении забойного массива дисковыми инструментами на правой и левой коронках при их перемещении как снизу вверх, так и сверху вниз.

С учетом перемещения стрелы комбайна, реверса коронок, а также периодичности входа и выхода дисков, получены базовые зависимости:

- усилий разрушения и крутящих моментов на дисковых инструментах разных коронок от контактной прочности P_k , а также зависимости крутящих моментов на дисковых инструментах разных коронок от условно фиксированного угла ρ их поворота;

- суммарных усилий и крутящих моментов на отдельных коронках от условно фиксированного угла ρ их поворота.

Таким образом, *второе и третье научные положения*, полученные на основе комплексных аналитических и теоретических исследований взаимодействия дискового инструмента с забоем, считаем обоснованными.

Считаем также обоснованными выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации. В частности, в обоснованности технических решений по совершенствованию и выбору параметров узлов крепления дисковых инструментов; по количественным зависимостям и соотношениям, позволяющим вычислять составляющие усилий взаимодействия дискового инструмента с горной породой в различных фазах процесса разрушения.

3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, достоверны с точки зрения корректности принятых допущений, использования опыта предыдущих исследований процессов взаимодействия дисковых инструментов с разрушаемой горной породой. Особенность рецензируемой диссертационной работы заключается в том, что она посвящена развитию теоретических положений для последующего получения практических результатов, направленных на обоснование и разработку двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом на многогранных призмах. В этом контексте на данном этапе работы не было прямой необходимости в постановке и проведении специальных экспериментальных исследований. В работе представлено решение новых задач по выбору компоновочной схемы, определению основных параметров двухкорончатого исполнительного органа и консольных узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам известными методами, которые основаны на фундаментальных закономерностях теорий прочности и исследованиях процессов разрушения горных пород и проектирования горных машин и оборудования. Наряду с этим достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечиваются также корректностью принятых допущений при моделировании напряженно-деформированного состояния с использованием метода конечных элементов и положений механики разрушения хрупких сред, наличием патентов РФ.

4. Новизна научных положений, сформулированных в диссертационной работе

Новизна научных положений, сформулированных в диссертации, определяется, прежде всего, тем, что объектом научного исследования впервые избран двухкорончатый стреловидный исполнительный орган проходческих комбайнов, на котором предлагается устанавливать дисковые инструменты с консольными узлами крепления к многогранным призмам.

Рабочий процесс данного исполнительного органа рассмотрен во взаимосвязи с особенностями принципа действия, конструктивно-кинематической схемы и режимов работы проходческого комбайна избирательного действия. По-существу, все промежуточные и конечные результаты исследования представляют собой элементы создаваемых основ теории работы двухкорончатого исполнительного органа с установленными на нем дисковыми инструментами на многогранных призмах. При этом новые научные результаты получены за счет обобщения научно-технической информации по теории разрушения горных пород исполнительными органами проходческих и очистных комбайнов и выбору их параметров.

Научной новизной обладают следующие конкретные результаты исследований диссертационной работы:

- на отдельных дисковых инструментах с консольными узлами крепления к многогранным призмам двухкорончатых стреловидных исполнительных органах проходческих комбайнов усилия статического нагружения прямо пропорционально зависят от прочности горных пород и имеют минимальные значения на биконическом дисковом инструменте, а максимальные – на коническом с учетом углов наклона продольных осей дисков к осям вращения коронок;

- впервые установлено, что на дисковом инструменте с консольными узлами крепления к многогранным призмам эквивалентные напряжения зависят от прочности горных пород, могут быть аппроксимированы полиномами шестой степени для трехгранных и четырехгранных призм с отдельными дисками, и четвертой степени для спаренных дисков на четырехгранных призмах. При этом для всех типов биконических дисковых инструментов зоны концентрации максимальных эквивалентных напряжений смещены к лезвию дискового инструмента с минимальным объемом и значением.

- на отдельных коронках двухкорончатого стреловидного исполнительного органа усилия разрушения и крутящие моменты зависят от прочности горных пород, описываемые полиномами пятой степени с учетом периодичности входа и выхода дисков из контакта с породой при фиксированных угловых положениях поворота коронок.

5. Практическое значение диссертационной работы

Заключается в возможности использования результатов исследования характеристик напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов консольных узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам на двухкорончатых стреловидных исполнительных органах проходческих комбайнов на этапе проектирования. Также практическая значимость заключается в непосредственной возможности использования группы патентов РФ в проектно-конструкторских организациях и заводах горного машиностроения при создании исполнительных органов проходческих комбайнов, адаптированных к широкому спектру условий эксплуатации с возможностью созда-

ния импортозамещающих образцов продукции на российских заводах горного машиностроения. Полученные результаты диссертационной работы рекомендованы к использованию на предприятиях АО «СУЭК-Кузбасс» в виде технических решений, защищенных патентами РФ.

Замечания по диссертационной работе

1. Главной целью совершенствования горнопроходческого оборудования, в том числе и проходческих комбайнов, является повышение их производительности. В диссертации не рассмотрены взаимосвязи предложенных технических решений и полученных силовых закономерностей с вопросами формирования производительности исполнительного органа.
2. В постановке диссертационной работы и ее цели делается упор на преимущественное использование предлагаемого исполнительного органа для разрушения структурно-неоднородных пород. Однако, ни в промежуточных результатах, ни научных положениях влияние этого фактора не отмечено.
3. Существенное влияние на силовые закономерности взаимодействия дисков с горной породой оказывает угловая скорость вращения коронки. Однако этот фактор даже не упомянут в числе основных влияющих условий.
4. Не отражено влияние диаметра дискового инструмента на рабочие процессы и выбор этого параметра при проектировании.
5. Процесс взаимодействия разрушающего инструмента с горной породой носит стохастический характер. Об этом обстоятельстве в диссертации не упоминается.
6. Для практического использования результатов диссертационной работы необходима инженерная методика. В диссертации такая методика отсутствует.
7. В научном положении №3 отмечены суммарные усилия и крутящие моменты на отдельных коронках. В данном случае не хватает информации по определению зависимости суммарных усилий и крутящих моментов в целом на двухкорончатом стреловидном исполнительном органе от прочности горных пород.
8. Работа носит прикладной характер, поэтому соискатель не ставил задачу по разработке аргументированной теории изучаемого вопроса, а лишь уточнял ее некоторые положения. Этим видимо объясняется узкий круг привлекаемых источников.
9. Принцип репрезентативности материала диссертации, сопоставимость с выводами и заключениями других авторов в работе отсутствует. Это видимо объясняется тем, что исследования содержат новые, запатентованные технические решения.
10. Отсутствуют результаты лабораторных и производственных исследований, что не позволяет сравнить теоретические и практические результаты по силовым и мощностным параметрам двухкорончатых стреловидных исполнительных органов при разрушении горных пород. Необходимо дать сопоставление с результатами ранее выполненных исследований.

Замечания по оформлению

1. Завышенный объем диссертации. Можно было бы сократить количество страниц в приложении, а также количество наименований в библиографическом списке.
2. В диссертации имеется разночтение по наименованию составляющих усилий разрушения горных пород P_x , P_y , P_z .

3. Не ясно, почему в главах 2 и 3 при расчетах параметров нагружения дисковых инструментов использован предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$, МПа, а в главе 4 - контактная прочность P_k , МПа. Должно быть единообразие.

4. Нет сведений о том, как изменение параметров резьбы в узлах крепления к трехгранной призме сказывается на напряженно-деформированном состоянии самого узла крепления (рис. 3.5 – 3.12).

5. В тексте диссертации нет расшифровки термина «спаренные диски» (рис. 2.8).

6. На рис. 2.13 подрисуночная подпись не соответствует изображению рисунка, необходимо поменять местами рисунки б и в.

7. Из материалов диссертации не ясно, проводились ли исследования напряженно-деформированного состояния в режиме динамических нагружений.

8. На стр. 101 -103 и 105 -107 для удобства восприятия информации усилия P_{yi} лучше поменять на P_o .

9. К стилистическим недочетам следует отнести неоправданное усложнение структуры предложений.

6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Борисова А.Ю. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены инновационные научно-технические решения в области разработки двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом, позволяющие повысить эффективность проведения горных выработок и получить практический результат, удовлетворяющий угледобывающие компании.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты в области исследований процессов разрушения горных пород и углей породоразрушающим инструментами, синтеза добычных и проходческих комплексов обоснованием и разработкой параметров исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия.

По результатам, представленным в диссертационной работе, получена группа патентов РФ в виде технических решений в области создания опытных образцов исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом, адаптированных к широкому спектру условий эксплуатации и с возможностью создания проходческих комбайнов на уровне лучших мировых образцов при сотрудничестве с проектно-конструкторскими организациями и заводами горного машиностроения.

Автореферат диссертации отражает ее основные научные положения, выводы и рекомендации, а также научную и практическую ценность работы.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.05.06 - Горные машины в части пунктов, отражающих области исследований 3, 4.

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

Оформление материала диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к печатным работам, в том числе к иллюстрационному материалу. Основные положения диссертации апробированы путем ее всестороннего обсуждения, в том числе с привлечением научных специалистов по теме диссертации. Соискатель выполнил авторское реферирование, проведя анализ и синтез информации, логически преобразовал диссертацию в соответствии с требованиями, предъявляемыми в авторефератах диссертации, к поаспектной характеристике рубрик ее содержания.

Замечания по диссертационной работе не снижают ее научной и практической ценности, а свидетельствуют о необходимости дальнейших серьезных исследований и научно-технических разработок в этом актуальном направлении.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения Министерства образования и науки РФ по присуждению ученых степеней, а ее автор, Борисов Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 - Горные машины.

Официальный оппонент доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и комплексы горных, строительных и металлургических производств» Шахтинского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», профессор


Хазанович Григорий Шнеерович
« 31 » января 2017 г.

346500, Ростовская область, г. Шахты, пл. Ленина, д. 1, Шахтинский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,

тел.: 8(8636) 22 40 50, 8(8636) 22 20 36, +7-989-725-93-83. +7-989-528-55-14.

e-mail: hazanovich@rambler.ru; tkgsmp@itsinpi.ru

Подпись Хазановича Р.Ш. заверяю:

И.о. директора  В.Г. Савенко

