

ОТЗЫВ

**официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Жукова Ивана Алексеевича на диссертацию Секретова Михаила
Валентиновича на тему: «Методология создания инструмента для
разрушения крепких горных пород», представленную на соискание ученой
степени доктора технических наук по специальности**

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Структура и объем работы

Диссертационная работа полным объемом 473 страницы включает в себя 251 рисунок, 5 таблиц, 6 приложений. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка источников из 318 наименований.

Актуальность темы диссертации

Развитие современных горных машин, предназначенных для разрушения крепких горных пород, напрямую связано с необходимостью их оснащения высокоэффективным инструментом.

Наиболее распространенными в практике горной промышленности являются инструменты горных машин и оборудования ударного действия, к которым относятся буровые коронки перфораторов и погружных пневмоударников; пики и зубила отбойных молотков и гидромолотов, долотья ударно-врубковых машин. Одним из перспективных направлений совершенствования такого рода инструмента является рационализация его геометрических форм и размеров, угла приложения его оси к горной породе, скорости перемещения, обеспечивающая более эффективную работу ударной системы машины.

Достаточно часто применяемыми в горной промышленности являются инструменты, предназначенные для алмазного и дробового распиливания крепких горных пород, используемые на камнераспиловочном оборудовании. К нему относятся: алмазно-канатные, алмазно-дисковые, алмазно-штрипсовые и штрипсовые дробовые пилы. Одним из перспективных направлений совершенствования такого инструмента является оптимизация их геометрических параметров и установление рациональной величины усилия подачи.

Поставленные задачи обозначенных направлений в настоящее время решаются с применением компьютерных технологий моделирования и анализа инструмента наряду с традиционными аналитическими и численными методами расчётов, что расширяет возможности исследования и повышает их достоверность. В связи с этим необходимо дальнейшее развитие научно-методических подходов к решению проблемы повышения эффективности эксплуатации породоразрушающего инструмента. На этом основании диссертационная работа Секретова М.В., посвященная разработке

методологии создания инструмента машин для разрушения крепких горных пород представляется несомненно актуальной.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Сформулированные в диссертационной работе научные положения соответствуют поставленной цели. Научные положения, выводы и рекомендации обоснованы результатами теоретических и экспериментальных исследований, определяемых поставленными задачами и содержанием диссертации. Степень достоверности результатов подтверждается применением теории ударного разрушения крепких горных пород; методов силового анализа алмазно-канатной и штрипсовой пилы камнераспиловочного оборудования; анализа экспериментальных данных, полученных при исследовании процесса работы ударной пилы станка ударного распиливания; анализа работы алмазного многоканатного станка модели Jupiter для распиливания гранитных блоков на ОАО «Московский камнеобрабатывающий комбинат»; методов математического моделирования с использованием известных компьютерных программ.

Первое научное положение связано с разработкой и обоснованием математической модели распространения ударных волн в корпусе и породоразрушающих элементах инструмента горных машин и крепкой горной породе, учитывающей геометрические формы и размеры инструмента, на основании которой определяются рациональные геометрические параметры: угол наклона боковой поверхности, величина зоны контакта, высота породоразрушающих элементов; высота и диаметр (ширина) корпуса.

Второе научное положение связано с построением математической модели ядра напряжения и лунки выкола и скола, на основании которой устанавливается рациональная величина нагрузки со стороны инструмента и угол наклона его оси по отношению к плоскости породы, при которых обеспечивается образование наибольшего объёма выкола и скола, а, следовательно, достигается максимальная производительность разрушения крепкой горной породы.

Третье научное положение является логическим продолжением первого и второго и связано с математической моделью распространения ударных волн в корпусе и породоразрушающих элементах инструмента горных машин с образованием ядра напряжений и лунки выкола в крепкой горной породе, на основании которой определяется объём лунки выкола для породоразрушающих элементов кругового профиля, зависимость изменения величины объёма лунки выкола от угла наклона боковой поверхности породоразрушающих элементов трапецеидального профиля с целью получения максимальной производительности и минимальной энергоёмкости ударного разрушения.

Четвертое научное положение заключается в разработке метода ударного распиливания крепких горных пород, концепции инструмента и станка для его

реализации, позволяющего определять производительность и рациональную величину энергии удара в зависимости от геометрических параметров ударной пилы, скорости её подачи и свойств породы, обеспечивать высокую производительность до 2,2 м²/час и качество получаемых поверхностей, повысить выход товарных блоков на 20% по отношению к буровзрывному способу, на 5-10% по отношению к ударно-врубловому способу.

Пятое научное положение заключается в разработке метода определения рациональных геометрических параметров и форм алмазных сегментов, который основывается на предложенном силовом и прочностном расчете алмазно-канатной пилы, позволяющим снизить напряжения в сегменте и выявить форму ядра напряжения и скола, образованных в породе вследствие контакта с зерном алмаза.

Шестое научное положение заключается в разработке метода расчета рациональных геометрических параметров штрипсовых пил камнераспиловочных станков с различной траекторией движения пильной рамы, основанный на установлении влияния динамических нагрузок в приводе подачи на потерю их устойчивости, позволяющий выявить форму ядра напряжения и скола в породе, снизить напряжения в полотне пилы, повысить её устойчивость за счёт нахождения рациональной величины эксцентриситета установочных отверстий и определять рациональный размер абразивной дроби.

В *первой главе* диссертации излагается состояние вопроса научных исследований в области создания инструмента машин и оборудования для разрушения крепких горных пород, которая завершается обоснованием цели и постановкой задач исследований. Во *второй главе* представлены математические модели прохождения ударных волн в породоразрушающих элементах инструмента машин ударного разрушения с трапецеидальным и круговым профилем, позволяющие определять рациональные геометрические параметры породоразрушающих элементов: угол наклона боковой поверхности, радиус, высоту, величину зоны контакта. В *третьей главе* представлена математическая модель образования ядра напряжений и лунки выкола (скола) в крепкой горной породе под воздействием инструмента, на основании которой определяется рациональная величина нагрузки со стороны инструмента и угол наклона его оси по отношению к плоскости породы, максимально возможные значения объёма выкола (скола) и производительности разрушения крепкой горной породы. В *четвёртой главе* представлена математическая модель прохождения ударных волн через инструмент с образованием ядра напряжений и лунки выкола в крепкой горной породе, на основании которой определяется объём лунки выкола для породоразрушающих элементов кругового профиля, зависимость изменения величины объёма лунки выкола от угла наклона боковой поверхности породоразрушающих элементов трапецеидального профиля с целью получения максимальной производительности и минимальной энергоёмкости ударного разрушения. В *пятой главе* представлены

разработанные автором и предложенные к практической реализации метод и теория ударного распиливания крепких горных пород, концепции инструмента и станка для его реализации, обоснованы зависимости производительности и рациональной величины энергии удара от геометрических параметров ударной пилы, скорости её подачи и свойств породы. В *шестой главе* представлен метод силового и прочностного расчета алмазно-канатной пилы камнераспиловочного оборудования, на основании которых были установлены рациональные формы алмазных сегментов и рациональный радиус скругления рабочих кромок с целью повышения стойкости инструмента и производительности распиливания. В *седьмой главе* представлен метод определения рациональных геометрических параметров штрипсовых пил камнераспиловочных станков на основе установленного влияния на потерю их устойчивости динамических нагрузок в приводе подачи, что позволит повысить производительность распиливания и стойкость пилы. В *восьмой главе* рассмотрены основные этапы создания инструмента для разрушения крепких горных пород, являющихся частью представленной методологии.

Полученные математические зависимости отображают характер распространения ударных волн, силовых воздействий на исследуемые объекты и величин напряжений в них. Они основаны на применении известных методов теории распространения упругих волн в твёрдых средах, методов силовых и прочностных расчётов, учитывающих специфику работы исследуемых объектов. В этой связи результаты исследований не вызывают сомнений в их достоверности. Результаты проведённых экспериментальных исследований соотносятся с разработанной теорией.

На этом основании можно утверждать, что все научные положения, сформулированные соискателем, доказаны, а диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– установлены закономерности влияния геометрических параметров корпуса и породоразрушающих элементов инструмента машин ударного действия на прохождение ударной волны через них в зону контакта с породой, определяющих объем разрушенной породы, описываемых с помощью предложенной системы коэффициентов эффективности прохождения ударной волны из корпуса и породоразрушающих элементов инструмента в породу, позволившие выявить, что наиболее эффективный породоразрушающий элемент должен иметь трапецеидальный профиль с углом наклона боковой поверхности $\delta = 10-20^\circ$, причем эффективность породоразрушающего элемента кругового профиля сопоставима с эффективностью породоразрушающего элемента трапецеидального профиля с углом наклона боковой поверхности $\delta = 30^\circ$, высокоэффективными пространственными формами породоразрушающего элемента являются клиновья, сферическая, конусная,

пирамидальная с четырьмя прямыми и круговыми гранями, полуцилиндрическая, низкоэффективными – шиповая и вогнуто-клиновья;

– установлены зависимости изменения параметров изолиний ядра напряжений от параметров нагрузки, угла её приложения и площади контакта инструмента с породой;

– установлены закономерности влияния геометрических параметров корпуса и породоразрушающих элементов инструмента машин ударного действия на нагрузку в зоне контакта породоразрушающего элемента с породой, вызванной прохождением через неё ударных волн, определяющей геометрические параметры ядра напряжений и лунки выкола, производительность и энергоёмкость ударного разрушения, на основании которых установлено, что угол наклона боковой поверхности породоразрушающих элементов инструмента машин ударного разрушения должен составлять $15-20^\circ$ для пород $f < 14$, и $25-30^\circ$ для пород $f \geq 14$ с учётом использования в качестве материала вольфрамо-кобальтовых сплавов повышенной прочности, средне- и крупнозернистых с повышенным содержанием кобальта;

– установлены зависимости и закономерности производительности и рациональной величины энергии удара от геометрических параметров инструмента предложенной ударной пилы, скорости её подачи и свойств породы, на основании которых было выявлено, наибольшая производительность ударного распиливания достигается при использовании моделей ударных пил с зубьями трапецеидального профиля с относительно небольшими углами наклона их боковой поверхности ($\delta = 20-40^\circ$), что подтверждает результаты теоретических исследований о снижении угла наклона боковых поверхностей породоразрушающего элемента;

– на основе предложенных методов силовых и прочностных расчетов алмазно-канатной пилы получены зависимости максимальных напряжений в алмазных сегментах от радиуса скругления передней кромки, обоснованы их рациональные формы, позволяющие повысить ресурс;

– на основе установленного влияния динамических нагрузок в приводе подачи на потерю устойчивости («увод») штрипсовых пил станков с маятниковой, выпуклой, прямолинейной траекторией движения пильной рамы, предложены их рациональные геометрические параметры.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационного исследования

Значимость полученных соискателем результатов для развития науки в области методологии создания инструмента машин и оборудования для разрушения крепких горных пород заключается в дальнейшем развитии теории взаимодействия его с породой, позволяющей определять его параметры, исходя из максимальной производительности разрушения породы при ограничении

напряжений, возникающих в нём, что позволило создать инструмент с более высокой производительностью, стойкостью и минимальными энергозатратами, предложить новый метод и концепцию проектирования станков для ударного распиливания крепких пород.

Практическое значение диссертации заключается:

– в предложенном новом методе ударного распиливания крепких горных пород, на основании которого были разработаны конструкции ударных пил и концепции станков для камнедобывающих и камнеобрабатывающих производств;

– в разработке методик анализа и синтеза породоразрушающего инструмента горных машин ударного действия.

На разработанный способ ударного распиливания горных пород и устройство для его осуществления получен патент РФ на изобретение.

Практическое приложение разработанных методик подтверждено справками о внедрении результатов диссертационной работы в производство.

Результаты работы позволяют:

– промышленным предприятиям, занятым производством инструмента машин и оборудования для ударного разрушения и распиливания крепких горных пород, определять при проектировании инструмента его рациональные параметры в зависимости от условий эксплуатации;

– модернизировать машины и оборудование для ударного разрушения и распиливания крепких горных пород путем оснащения их усовершенствованными инструментами с предлагаемыми параметрами и формами;

– учебным организациям создавать и совершенствовать учебно-методические комплексы для подготовки студентов по направлениям, связанным с проектированием и эксплуатацией горных машин и оборудования по специальности «Горное дело».

Замечания по диссертации

Оценивая положительно результаты диссертационного исследования, следует высказать ряд замечаний.

1. В первом выводе записано, что разработанная методология позволяет определять форму буровых коронок. Но об этом и речи нет в работе. Форма коронки и форма породоразрушающего элемента коронки – это совершенно разные вещи.

2. В пункте 3 научной новизны рекомендован угол наклона боковой поверхности породоразрушающих элементов инструмента машин ударного действия $15-20^\circ$ для пород с коэффициентом крепости $f < 14$, но при этом не указан его нижний предел.

3. Предложенное техническое решение буровой коронки с уменьшенным углом заточки породоразрушающей пластины естественно приведет к

ускорению процесса их изнашивания, что не позволяет утверждать о повышении стойкости такого инструмента, тем более что экспериментальных испытаний новой конструкции проведено не было.

4. В п. 2.5.4 диссертации автор упоминает о разработанной программе «Трапецеидальный породоразрушающий элемент Mathcad», однако не сопровождает эту информацию ни скринами программы, ни ее кодом. Также не понятна фраза о том, что эта программа позволяет наиболее точно подбирать геометрические параметры инструмента. Что значит «наиболее точно», в сравнении с чем? И вряд ли программа обеспечивает именно подбор параметров, скорее всего речь идет об анализе их эффективности. Считаю, то пункт о разработке такой программы мог быть указан в части «Практической значимости» работы.

5. Не приведены пояснения позициям 1-8, указанным на рисунках 8,б в автореферате и на рисунках 2.51, 2.52, 2.55, 2.56, 2.59, 2.60 в диссертации.

6. Не приведено обоснование выбранных в пункте 3.1 диссертации исходных данных: $F_{\text{конт}} = 800\text{Н}$ и $d_{\text{конт}} = 0,30\text{мм}$. Далее величина нагрузки изменена до 10000Н. А в пункте 3.2 усилие принято равным 5200Н.

Отмеченные недостатки не умаляют значимости выполненной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертация Секретова М.В., представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение в области создания высокоэффективного инструмента горных машин для разрушения крепких горных пород.

Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. В диссертации соискатель корректно ссылается на литературные источники. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. Работа написана грамотным литературно-техническим языком, снабжена достаточным количеством правильно оформленного иллюстративного материала. Содержание автореферата отражает основные положения работы и главные доказательства их истинности. В диссертации даны рекомендации по использованию научных выводов, а также приводятся сведения о практическом применении полученных научных результатов.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 35 научных статьях, в том числе 16 публикаций в рецензируемых научных журналах,

входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 7 статей в изданиях, индексируемых наукометрической базой Scopus, в 1-ой монографии, а также автором получен 1 патент РФ на изобретение.

Все изложенное позволяет заключить, что диссертация «Методология создания инструмента для разрушения крепких горных пород» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к докторским диссертациям, в том числе пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. № 842 (ред. от 16.10.2024), а ее автор – **Секретов Михаил Валентинович** заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.8 – Геотехнология, горные машины.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой машиностроения
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский
горный университет императрицы Екатерины II»,
доктор технических наук (05.05.06 – Горные машины),
доцент

Жуков Иван Алексеевич

«25» февраля 2026 г.

Адрес: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2.

Тел.: +7 (812) 328-89-36

E-mail: zhukov_ia@pers.spmi.ru



Исполнитель: И.А. Жукова
Заведующий отделом
управления делопроизводства
и контроля документооборота

Е.Р. Яковлева

25. 02. 2026