

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Стародубова Алексея Николаевича
«Обоснование технологии и оборудования выемки мощных пологих пластов
средствами компьютерного моделирования»
по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»

Актуальность темы диссертации обусловлена тем, что подземный способ разработки угольных месторождений остаётся основным при добыче наиболее ценных, экспортноориентированных марок каменного угля. Только в Кузбассе запасы пригодных для подземной отработки месторождений исчисляются миллиардами тонн. На глобальном рынке на долю мощных угольных пластов приходится 12% мировой добычи, что заставляет ведущие угледобывающие страны (Россию, Китай, Австралию и др.) непрерывно совершенствовать технологии их разработки.

Для отработки мощных пологопадающих пластов используются механизированные комплексы с выпуском угля из подкровельной и межслоевой толщи, что представляет собой сложный процесс дефрагментации и перемещения кусков горной массы. Совершенствование технологии добычи требует понимания физики процесса, что невозможно без использования математических моделей. Используемый диссертантом метод дискретных элементов (Discrete Element Method - DEM) для создания модели истечения кускового материала является на сегодня наиболее эффективным способом решения подобных задач. Именно DEM-моделирование позволяет с достаточно высокой точностью воссоздать дискретную среду угля и вмещающих пород, выявить закономерности перемещения горной массы вблизи выпускных отверстий и обосновать конструктивные параметры механизированных крепей.

Несмотря на имеющиеся достоинства, технология выпуска угля из подкровельной и межслоевой толщи сопряжена с рисками потери угля и его разубоживания пустой породой. Использование DEM-моделей позволило: визуализировать траектории движения кусков, определить скорость и гранулометрический состав выпускаемого угля; найти границы «порода-уголь» для снижения разубоживания; согласовать процессы передвижки крепи, выпуска горной массы и режимы работы очистного комплекса без проведения дорогостоящих и опасных натурных экспериментов.

Диссертация базируется на результатах исследований, полученных в 2019-2026 гг. при непосредственном участии и под руководством автора: в проектах государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (рег. № АААА-А21-121012290021-1 и № 1022041500010-0-1.5.1;2.7.5); ФЦП по теме «Разработка технологии эффективного освоения угольных месторождений роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи» (рег.№: АААА-А17-117122560002-9); гранте Правительства Кемеровской области – Кузбасса по прикладному научному исследованию «Разработка программно-методического обеспечения для цифровизации процессов проектирования горнотехнических систем для открытых и подземных горных работ» (соглашение от 22.11.2022 г. №1).

Достоверность научных положений обеспечена: использованием фундаментальных физических законов для теоретического анализа; надежностью входных данных, полученных из разных источников; заверкой математических моделей данными натурных экспериментов; сходимостью полученных при моделировании результатов с основными положениями теории выпуска сыпучих материалов.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературных источников и четырех приложений

Во введении рассматриваются вопросы обоснования тематики исследований, изложены цель и идея работы, на основе которых сформулированы основные задачи

исследований. Раскрыты методы исследования, апробация результатов, сформулированы выносимые на защиту положения.

Краткая характеристика диссертации. В первой главе проведен анализ решений, направленных на развитие технологий отработки мощных угольных пластов. Выполнен обзор источников по системам отработки пластов на полную мощность с выпуском угля подкровельной и межслоевой толщи на забойный и завальный конвейеры. Рассмотрен опыт использования компьютерного моделирования при исследовании процесса выпуска кускового материала.

Во второй главе дано описание комплекса компьютерных моделей для оценки и прогнозирования параметров выемки мощных угольных пластов с выпуском подкровельной толщи. Особенностью комплекса моделей является возможность вести предиктивный анализ добычи в сложных горно-геологических условиях, где традиционные подходы неэффективны ввиду наличия большого количества случайных факторов и недостаточности данных, получаемых от прямых аналогов. В основе методологии использования комплекса моделей лежит комбинированный подход, включающий: метод дискретных элементов - для расчета пикового массового расхода и моделирования управляемого выпуска разрушенной горной массы; дискретно-событийное моделирование - для предварительного выбора технологического режима; специальные алгоритмы - для оптимизации параметров технологии.

В третьей главе определены рациональные границы применения технологии разработки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля на забойный конвейер. Автор научно обосновал набор горно-геологических и горнотехнических условий, при которых использование специальной механизированной крепи обеспечивает максимальную производительность забоя и минимальные потери полезного ископаемого. Значительный объем численных экспериментов посвящён определению рациональных параметров процесса выпуска горной массы, где автор с использованием классических подходов к описанию поведения сыпучих материалов проанализировал процесс выпуска горной массы при разном количестве передвижек механизированного комплекса. Применив полученные результаты для исследования процесса выпуска в реальных горно-геологических и горнотехнических условиях, показал, что высокую производительность и полноту выемки за счёт формирования разворота потока угля можно обеспечить при трехкратной передвижке крепи (в общем случае - при расстоянии передвижки, близком к удвоенному значению малой полуоси идеального эллипсоида выпуска).

Четвертая глава посвящена изучению особенностей функционирования конструктивного элемента «питатель-заслон» крепи специализированного очистного комплекса. Показано, что от параметров его функционирования зависит эффективность всей технологии. Исследованы возможные варианты сочетания углов наклона заслона и питателя, а также скоростей возвратно-поступательного движения последнего. Выявлены три зоны потока с разными скоростями и гранулометрическим составом, образование которых происходит благодаря конструктивным особенностям элемента, а их учёт позволяет повысить управляемость и эффективность движения потока горной массы. Внедрение нового элемента секции механизированной крепи влечёт за собой дополнительные риски и технические ограничения. Автор показал, что возникает проблема существенного износа питателя и предложил способ его оценки, а также показал возможность применения созданных моделей для выработки рекомендаций по характеристикам применяемых материалов, обеспечивающих наилучшие показатели по критериям долговечности, стоимости и массы.

В пятой главе обоснованы режимные параметры технологии выпуска угля подкровельной толщи при одновременной работе нескольких секций крепи. Показано, что

волновой режим, в отличие от альтернативных вариантов, гарантирует максимально стабильное, равномерное и полное заполнение забойного конвейера. На основе этих данных разработана методика, позволяющая для конкретных горно-геологических условий определять оптимальное число одновременно работающих секций, последовательность их запуска и величину массового расхода на каждой из них.

В шестой главе приведены результаты исследований по установлению закономерностей изменения технологических показателей выпуска угля, характеризующие физическую и геометрическую динамику истечения раздробленной горной массы:

- объем извлеченного угля дискретно зависит от времени единичного выпуска и описывается кусочно-линейной функцией, отражающей отсутствие роста объема выпускаемого угля по достижению некоторого значения;
- изменение показателей разубоживания выпускаемого угля и его потерь в завальном пространстве имеют форму ветвей парабол и отражает динамику смещения контактной зоны «порода-уголь»;
- вероятность сводообразования (зависания) над выпускным окном возрастает по экспоненциальному закону вследствие кумулятивного накопления случайных комбинаций заклинивания фракций силами трения, при этом доля самообрушения статических сводов ограничена величиной 5 %.

Выявлены пространственно-геометрические и структурно-фракционные особенности процесса динамического сводообразования в зоне выпуска над механизированной крепью. Установлена сегрегационная неравномерность распределения мелкодисперсных фракций, выраженная в большой концентрации частиц размером до 0,13 м (до 85 % от общего объема) на элементах поддерживающей части крепи, непосредственно граничащих с контуром выпускного окна.

В Заключение отражены обобщенные научные выводы проведенных исследований в соответствии с поставленными целями и задачами.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации, а опубликованные печатные работы в полной мере отражают основные результаты, изложенные в диссертационной работе.

Полнота изложения материалов исследований в публикациях автора.

По теме диссертации опубликовано 34 печатные работы, в том числе: 10 – в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования РФ; 6 – в научных изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 4 – свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ; 1 – патент на изобретение.

Новизна теоретических положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

1. Разработан алгоритм использования комплекса методов математического и компьютерного моделирования: метода дискретных элементов, дискретно-событийного моделирования и алгоритмов выбора рациональных вариантов сочетания параметров, – отличающийся их комбинацией, позволяющей повысить скорость и достоверность принятия решения при предиктивном анализе геотехнологии с выпуском угля подкровельной толщи.

2. Обоснована область эффективного применения технологии выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля на забойный конвейер, учитывающая соотношения мощностей угля подкровельной толщи и пород кровли, участвующей в выпуске, а также величину подвигания специализированного очистного механизированного комплекса перед выпуском.

3. Выявлены области с разными скоростями движения горной массы различной крупности в системе «питатель-заслон» специальной механизированной крепи и её параметры, отличающиеся эффективным и безопасным управлением процесса выпуска угля специализированным очистным механизированным комплексом.

4. Обоснованы режимные параметры технологии выпуска угля подкровельной толщи, обеспечивающие наиболее стабильное, равномерное и полное заполнение конвейера при одновременном выпуске угля из нескольких секций специальной механизированной крепи в составе специализированного очистного механизированного комплекса.

5. Установлены параметры программируемого управления процессами выпуска угля подкровельной толщи, характеризующегося низкой вероятностью образования статических сводообразований над выпускным окном и наибольшей эффективностью геотехнологии по интегрированному сочетанию показателей: объем выпущенной горной массы, процент разубоживания и потери угля за крепью.

Защищаемые положения.

1. Скорость и достоверность предиктивного анализа геотехнологий, исследования и программируемого управления движением горной массы достигается при использовании разработанного комплекса компьютерных моделей в соответствии с созданным алгоритмом применения разных видов моделирования.

2. Высокая производительность и полнота выемки мощных угольных пластов с выпуском угля подкровельной толщи с использованием специальной механизированной крепи на забойный конвейер обеспечивается за счёт формирования разворота потока угля, образуемого рядом передвижек комплекса на величину, близкую к удвоенному значению малой полуоси эллипсоида выпуска, при постоянном площадном подпоре породой не менее 3 т/м^2 при выпускаемой мощности угля более 2,5 м и в отношении по массе не менее 1:1 при меньшей мощности.

3. Массовый расход угля управляется сочетанием параметров системы «питатель-заслон» специальной механизированной крепи, в которой формируются три зоны потока с различной крупностью и линейной скоростью кусков: зона ускоренного истечения преимущественно большей крупности в верхнем слое, поддерживаемая и ускоряемая возвратно-поступательным движением питателя; зона нижнего слоя с высокой концентрацией мелких кусков, сдвигаемых ступенями питателя, и средний слой, движущийся медленнее, чем нижний и верхний слои в 1,3 и 2,8 раза соответственно.

4. Управляемым волновым режимом выпуска подкровельной толщи одновременно из нескольких секций специализированного очистного механизированного комплекса, с убывающим по длине очистного забоя значением массового расхода угля, обеспечивается регулируемое равномерное и максимальное заполнение забойного конвейера.

5. Объем выпущенной горной массы имеет вид кусочно-заданной функции от длительности выпуска - прямая пропорциональность с выходом на постоянную величину, при дальнейшем квадратичном росте процента разубоживания выпускаемого угля, но снижении его потерь, описываемом полиномиальной зависимостью второй степени, сопровождающимся экспоненциальным ростом вероятности образования статических сводообразований над выпускным окном секции специальной механизированной крепи. При этом существует интервал продолжительности выпуска, на котором обеспечиваются лучшие показатели эффективности специализированных очистных механизированных комплексов.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается:

в постановке задач исследования и методов их решения; в разработке компьютерных моделей для реализации методов математического моделирования; в обработке и анализе результатов численного и имитационного моделирования; в обосновании технологических и технических решений, обеспечивающих эффективность и безопасность выемки мощных пологих пластов.

Практическая значимость результатов проведенных соискателем ученой степени исследований заключается в том, что они позволяют:

- сократить время сопоставления множества вариантов при проектировании технологии выемки мощных пологих пластов с возможностью отображения динамики взаимодействия оборудования в виртуальном пространстве и прогнозирования эффективности геотехнологии;
- обосновать рациональные размеры и расположение выпускных окон, заслонов и питателей в секциях специальной механизированной крепи в составе специализированного очистного механизированного комплекса;
- способствовать внедрению механизированных комплексов с выпуском угля подкровельной толщи с использованием специальной механизированной крепи в составе специализированного очистного механизированного комплекса для разработки мощных угольных пластов.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В главе 1 при анализе запасов угля в мощных пластах по странам существует противоречие в данных Табл. 1.1 диссертации и тексте на стр. 18, где по-разному обозначены принятые в России размеры минимальной мощности пласта.

2. Не очень удачно сформулирована новизна в п.1 «Разработан алгоритм использования комплекса методов математического и компьютерного моделирования ...». Здесь более подходит: «Разработан методический подход к использованию аналитических и численных моделей ...».

3. Пункт 5 научной новизны сформулирован как «Установление параметров программируемого управления процессами выпуска угля подкровельной толщи, характеризующегося низкой вероятностью образования статических сводообразований над выпускным окном ...». При этом в диссертации отмечается, что вопрос минимизации сводообразования специально не исследовался.

4. Защищаемое научное положение №5 перегружено описанием деталей, что затрудняет его понимание.

5. В разделе 3.8 приведены результаты исследования по влиянию мощности предварительно разупрочненного массива породы кровли на процесс выпуска угля, но не дано описание того как это технологически реализуется, что затрудняет понимание правильности выбранных диапазонов мощностей разупрочненного массива.

6. Раздел 4.4 «Проблема пылеподавления при организации технологии с выпуском угля подкровельной толщи» не очень вписывается в структуру диссертации, так как посвящён обзору работ в этой области и не содержит результатов исследований с использованием моделирования.

7. В конце каждой главы отсутствуют выводы, что не позволяет в сжатом виде оценить представленные результаты.

Сделанные замечания вместе с тем не снижают хорошего впечатления от диссертационной работы, которая представляет собой современный подход к решению сложной научно-технической задачи.

Общее заключение по диссертационной работе.

Диссертационная работа Стародубова Алексея Николаевича является законченным научным исследованием, в котором на основании выполненных автором исследований разработаны и научно обоснованы технологические и технические решения,

обеспечивающие эффективность и безопасность выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля подкровельной толщи. Полученные результаты имеют важное научное и хозяйственное значение для развития угольной отрасли, повышая полноту выемки и снижая потери и разубоживание полезного ископаемого.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук и может быть квалифицирована как научная работа, в которой представлены новые научно обоснованные технические технологические решения в области выемки мощных пологих угольных пластов.

Учитывая изложенное, можно заключить, что автор представленной диссертационной работы, Стародубов Алексей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Официальный оппонент:

Член-корреспондент Российской академии наук, доктор технических наук по специальности 05.15.11 – «Физические процессы горного производства»,
Директор Горного института - обособленного подразделения ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (Гои КНЦ РАН).



Лукичев Сергей Вячеславович

Адрес: 184209, г. Апатиты Мурманской обл., Ферсмана, 24

Телефон: +7 (921) 6640253

Адрес электронной почты: s.lukichev@ksc.ru

Подпись Сергея Вячеславовича Лукичева подтверждаю
И.о. начальника отдела кадров Горного института КНЦ РАН

« 07 » сентября 2026 г.



А.С. Китаева