

ОТЗЫВ **официального оппонента**

на диссертационную работу «Исследование механизма формирования потерь и разубоживания руды на основе численного моделирования процесса торцевого выпуска» Лаптева Владимира Викторовича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. – «Геотехнология, горные машины».

1. Рецензируемая научная работа представлена:

- диссертацией, состоящей из введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения и списка литературы, включающего 93 наименования. Диссертация изложена на 128 страницах, содержит 55 рисунков и 20 таблиц.
- авторефератом на 20 страницах печатного текста со списком опубликованных работ автора.

2. Актуальность темы работы обусловлена:

- широкой применимостью, высокой востребованностью и производительностью систем с обрушением руды и вмещающих пород, и в частности – системы разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды, в практике отработки рудных и нерудных месторождений;
- высокими значениями потерь и разубоживания руды при выпуске, составляемых до 70% от общерудничных (общешахтных) потерь;
- истощением общемировых запасов полезных ископаемых, в частности – мощных залежей Хибинских апатит-нефелиновых месторождений;
- необходимостью развития методов исследований, изучающих механизмы формирования потерь и разубоживания руды.

3. Структура работы, обоснованность выдвигаемых научных положений, выводов и рекомендаций

Структура диссертации достаточно логична и раскрывает в полном объеме цель, задачи, новизну работы и полученные результаты

Первая глава: «Состояние вопроса, задачи исследования»

Автор приводит результаты анализа основных положений теории выпуска руды под обрушенными породами и в результате определяет основные факторы, влияющие на показатели извлечения. При исследовании способов моделирования выпуска устанавливает, что методы физического моделирования на сегодняшний день исчерпали свою исследовательскую возможность, что может вызывать некоторое несогласие, однако в действительности применение методов физического моделирования по отношению к современным численным методам обладает гораздо большей трудоёмкостью и меньшей информативностью. Автор устанавливает, что в настоящее время не существует единого представления о форме фигуры выпуска, о траекториях перемещения фрагментов сыпучей среды при торцевом и донном выпуске, о совокупном влиянии параметров выпуска на показатели извлечения; также автор отмечает, что существующие методики численного моделирования как правило реализованы на основе эмпирических зависимостей и слабо применимы для исследовательских целей. В результате автором на основе проанализированных научных трудов делается вывод, что достичь качественно нового

представления о процессе выпуска рудной массы возможно за счёт моделирования, реализующего реальное поведение горной массы при выпуске. Вышеописанное предопределило постановку цели, идеи, объекта, предмета и задач диссертационного исследования. В целом можно отметить полноту представленного для анализа материала, логичность и последовательность сделанных выводов.

Вторая глава: «Численное моделирование процесса выпуска горной массы»

Глава посвящена выбору метода моделирования, разработке и калибровке численной модели. В качестве метода моделирования автор выбрал метод дискретных элементов, реализованный в программном продукте Rocky DEM. Модель была откалибрована автором по углу естественного откоса и также автор ссылается на заверку по «поведению сыпучего материала при выпуске», но подробно не раскрывает критерии оценки данного поведения и способы заверки. В результате проведение тестовых экспериментов как на моделях с донным выпуском, так и с торцевым позволяет автору сформулировать **первое научное положение** «Использование метода дискретных элементов обеспечивает адекватное имитационное моделирование процесса выпуска раздробленной горной массы (ГМ) при исследовании различных технологических схем. Подбор характеристик модели позволяет не только обеспечить её соответствие реальной среде, но и многократно снизить время вычислительного эксперимента». Ускорение расчётов при использовании дискретных методов имеет особое значение ввиду их высокой вычислительной требовательности. Этим вопросам автор посвящает вторую половину главы, в результате чего устанавливает оптимальные параметры численной модели в части подбора численных моделей расчёта, этапов моделирования, граничных условий и длительности моделируемых технологических операций. В результате проведённых работ автором сформирована методика численного моделирования, которая может быть применима для аналогичных численных исследований выпуска.

В ходе тестовых экспериментов автором была уточнена форма траектории перемещения кусков горной массы при их торцевом и донном выпуске, в результате чего было сформулировано **второе научное положение** «траектории движения кусков ГМ к выпускному отверстию в большей степени соответствуют графику кубической функции, а не квадратичной. По параболической траектории куски стремятся к центральной зоне потока, обладающей наибольшей скоростью движения». Данное утверждение, хоть и выявлено в локальных условиях, однако при соответствующем развитии может стать основой для новых методик расчёта показателей извлечения при выпуске, т.к. некоторые из существующих методик опираются на траектории перемещения.

Третья глава: «Численное моделирование процесса торцевого выпуска руды на примере отработки хибинских месторождений»

В третьей главе обосновываются параметры численных моделей и их ограничения. В результате автор проводит серию численных экспериментов на моделях фрагментов очистных блоков с целью установления рациональных параметров конструктивных элементов в условиях выполаживающихся и выклинивающихся рудных тел Хибинских апатит-нефелиновых месторождений. Такое исследование имеет особую актуальность, так как по замечаниям автора вопросы полноты и качества извлечения в подобных условиях ранее подробно не исследовалась, а отработка маломощных выклинивающихся тел становится для КФ «АО Апатит» насущным вопросом. В результате исследования автор формулирует **третье научное положение**: «минимальные потери при торцевом выпуске

апатит-нефелиновой руды достигаются при конструктивных и технологических параметрах системы подэтажного обрушения: угол откоса траншеи $70-80^{\circ}$, расстояние между осями выпускных выработок – 16-18 м, фронтальный, угол наклона отбиваемой секции – $82-87^{\circ}$ ». Кроме того, в третьей главе автор описывает механизмы формирования количественных потерь при торцевом выпуске, что позволяет сделать ему ряд практических выводов и рекомендаций для достижения оптимальных показателей извлечения за счёт управления режимом выпуска и параметрами конструктивных элементов. Сформулированная автором идея о том, что при проектировании выемочных единиц и планировании процесса выпуска следует оперировать не принятой ранее высотой подэтажа, а высотой выпускаемого слоя, имеет большое практическое значение.

Четвёртая глава: «Исследование механизма формирования потерь и разубоживания руды для условий подэтажной отбойки и торцевого выпуска»

Глава описывает результаты численного моделирования, произведённого на полномасштабных моделях технологических узлов, составляющих набор секций отбойки, расположенных на различных подэтажах. В результате автором уточнены углы, образующие фигуру выпуска, описаны механизмы перетекания руды с одного подэтажа на другой, определено влияние режима выпуска на показатели извлечения в моделируемых условиях. Также автором была выявлена зависимость между объёмами извлечения горной массы из смежных секций отбойки, что даёт предпосылки для управления качеством выпускаемой рудной массы за счёт преднамеренного оставления в очистном пространстве запасов, временно отнесённых к потерям. В результате автором было сформулировано **четвёртое научное положение** «При торцевом выпуске руды зона потока внедряется вглубь массива на глубину 0,2-0,3 её высоты, что при толщине выпускаемого слоя 2,6-3,5 м позволяет управлять качеством рудной массы, за счёт выбора момента остановки выпуска в предыдущей секции отбойки». Представленный механизм может иметь высокое практическое значение в части новизны подхода к управлению режимом выпуска.

4. Научная новизна, практическая значимость и достоверность полученных результатов.

Научная новизна заключается в применении метода дискретных элементов для изучения закономерностей движения кусков раздробленной горной массы к выпускному отверстию на моделях очистных блоков и обоснования соответствия траектории движения кусков графику кубической функции. Представленная автором научная новизна обладает необходимыми атрибутами и вместе с научными положениями соответствует паспорту специальности «2.8.8. Геотехнология, горные машины».

Научная значимость основных результатов заключается в разработке методики численного имитационного моделирования для решения задач определения рациональных параметров конструкций и режимов выпуска горной массы, что в совокупности с представленными в диссертационной работе конкретными примерами расчётов на моделях фрагментов очистных блоков, представленных несколькими подэтажами и панелями, существенно упрощает проведение подобных исследований для других горно-геологических условий.

Практическая значимость обусловлена в первую очередь разработкой численной модели, которая применима для проведения дальнейших исследований как для условий Хибинских месторождений, так и после необходимой адаптации для других условий.

Результаты моделирования внедрены в методику расчёта показателей извлечения, являющуюся основой «Инструкции по учёту состояния и движения запасов, определению, планированию и нормированию количественных и качественных потерь апатит-нефелиновых руд на рудниках АО «Апатит».

5. Замечания по диссертации

5.1. Недостаточно полно представлен способ заверки характеристик моделируемого сыпучего материала по его «поведению»: дано лишь общее описание.

5.2. Оценка адекватности моделей проведена в достаточном объеме, однако применительно к численной модели вместо термина «заверка» следует пользоваться более распространённой при имитационном моделировании терминологией: верификация и валидация модели.

5.3. Не ясно о каких «полномасштабных моделях очистных блоков» идёт речь: нет описания полномасштабной физической модели, которая имеет тот же размер, что и исходный объект, а касательно численной модели следует воздержаться от использования данного термина, так как при её разработке для сокращения времени расчётов был сделан ряд допущений.

5.4. Для значительного снижения требований к вычислительным ресурсам и, как следствие времени на проведение экспериментов, в работе предложено использовать при моделировании сыпучий материал однородного гранулометрического состава. Обоснованы параметры частиц сферической формы; показана высокая точность результатов. Не вызывает сомнения необходимость и правильность такого подхода. При этом использование сферических частиц разного диаметра возможно не привело бы к существенному росту временных затрат, но показало бы большее соответствие поведения моделируемых частиц реальной системе.

5.5. На страницах 98-100 представлены стадии моделирования, но при этом в явном виде не показано, каким образом происходит переход к отдельным этапам. Например, остановка модели по достижению 7% содержания полезного компонента; заполнение новыми фрагментами, моделирующими руду, «донастройка» модели; изъятие перемычек между областями.

5.6. Третье положение, вероятно, следовало бы уточнить в той части, что при указанных параметрах конструктивных элементов минимальные потери достигаются в рамках одного подэтажа, т.к. именно об этом в нём и идёт речь. При выпуске нескольких подэтажей, часть потерь будет перепускаться на нижние подэтажи, что обусловит и другие механизмы формирования потерь.

Приведённые замечания не снижают значимость полученных теоретических и практически результатов диссертационного исследования.

6. Заключение

В целом представленная диссертационная работа «Исследование механизма формирования потерь и разубоживания руды на основе численного моделирования процесса торцевого выпуска» является завершённой научно-квалификационной работой, имеющей актуальное научно-практическое значение и отличающейся современным подходом к решению задач снижения количественных и качественных потерь при выпуске руды. Представленные научные положения достоверны и обоснованы, имеют научную ценность.

Автореферат диссертации в полной мере раскрывает её основные положения, в публикациях отражено основное содержание диссертации.

Диссертационная работа Лаптева Владимира Викторовича полностью отвечает требованиям «положения о присуждении учёных степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности «2.8.8. Геотехнология, горные машины».

Официальный оппонент,

кандидат технических наук по специальности 05.13.18, старший научный сотрудник, заместитель директора Института угля Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук»

Почтовый адрес:

650000, Россия, г. Кемерово, пр-т. Ленинградский, д. 10,
тел. +7 (384-2) 74-11-01, +7 (923) 4707070
E-mail: starodubov@ic.sbras.ru



подпись

Стародубов
Николаевич

Алексей

Я, Стародубов Алексей Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их обработку.



подпись

Личную подпись официального оппонента Стародубова А.Н. заверяю

Начальник отдела кадров



Иванова Н.С.

30.10.2023 г.