

ОТЗЫВ

**Официального оппонента доктора технических наук, профессора
Айнбиндера Игоря Израилевича на диссертацию Тхорикова Андрея
Игоревича на тему: «Прогноз напряженно-деформированного состояния
массива при разработке богатых железных руд», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика».**

Разработка железорудных месторождений подземным способом в отечественной и мировой практике осуществляется в основном с применением систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

В то же время имеются отдельные примеры разработки месторождений с высоким содержанием железа в руде, где применяются системы разработки с закладкой выработанного пространства в особо сложных горно-геологических условиях. К ним относится Яковлевское месторождение района Курской магнитной аномалии, содержание металла в руде которой достигает 69%, а в налегающей толще пород расположено 7 водоносных горизонтов, что предопределило применение систем разработки с нисходящей слоевой выемкой руды с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.

В последние годы с целью увеличения производительности рудника перешли на выемку запасов инновационной технологией с применением ромбообразной полигональной формы очистной выработки, что позволило повысить устойчивость горных конструкций и обеспечить рост производственной мощности предприятия.

Переход на работы на более глубокие горизонты разработки 500-600 м неизбежно связан с ростом напряжений вокруг выработок в зоне очистных работ, что требует оценки устойчивости горных конструкций на всех этапах освоения месторождения.

В связи с этим представленная диссертационная работа Тхорикова А.И., посвященная прогнозу НДС массива при применении данной технологии, является актуальной и позволяет дать оценку развития геомеханических процессов при переходе работ на большие глубины.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, изложена на 110 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков и 17 таблиц.

Основной целью работы является обеспечение устойчивости горных выработок и безопасности ведения горных работ при разработке месторождений богатых железных руд под высоконапорными водоносными горизонтами на основе прогноза напряженно-деформированного состояния рудного массива.

ОТЗЫВ

ВХ. № 250-9 от 09.09.21
АУ УС

Идея диссертации заключается в прогнозе изменения напряженно-деформированного состояния массива с учетом развития горных работ во времени при наличии высоконапорных водоносных горизонтов.

Автором, на основании выполненных научных исследований, сформулировано три научных положения.

Первое научное положение содержит утверждение, что напряженно-деформированное состояние рудного массива вокруг выработок следует описывать упруго-пластической моделью, учитывающей нелинейный характер деформирования рудного массива.

Для обоснования данного положения в диссертации изложен широкий комплекс исследований испытания физико-механических свойств руд различного состава как при одноосном, так и объемном сжатии на современном оборудовании, включая сервогидравлическую систему МТС 816 и RTR-1500, в результате которых получены значения прочностных показателей руды и пород, величины сцепления и угла внутреннего трения, модуль упругости и коэффициент Пуассона, которые необходимы для дальнейших исследований НДС массива.

В результате исследований было установлено, что во влагонасыщенном состоянии руды резко меняют прочность, что особенно важно при определении устойчивости горных конструкций. Была обнаружена прямая связь между значениями сцепления и прочностью железных руд, а также влияние на эти показатели цементирующих связей, что в целом характеризует пластичный характер разрушения образцов. Упруго-пластичный характер поведения массива подтвержден сравнением данных натурных измерений за сдвижением налегающей толщи пород с данными математического моделирования НДС массива в упруго-пластической постановке задачи его поведения, которые подтвердили правильность выбранной модели.

Такой характер поведения массива подтверждается натурными исследованиями изменения состояния и потери устойчивости горных выработок при ведении горных работ, где наблюдались значительные разрушения кровли и бортов выработок. Установлено, что вокруг выработок формируется зона неупругих деформаций на глубину до 2-х метров и значительное снижение прочностных свойств руды.

Здесь надо отметить большой объем исследований и важность полученных результатов.

Вторым научным положением утверждается, что расчет напряженно-деформированного состояния массива с наличием водонапорных горизонтов следует вести с использованием критерия прочности Хоека-Брауна.

Данное положение логически вытекает из доказательств предыдущего положения об упруго-пластическом поведении массива горных пород. Предыдущие исследователи НДС массива на Яковлевском руднике использовали при постановке задачи модели упругого поведения массива, ввиду сложности разработки программ расчета.

Выбор критерия прочности Хоека-Брауна, который учитывает снижение прочностных свойств природного и техногенного происхождения, в том числе параметр нарушенности массива, позволяет максимально близко описать свойства массива горных пород в естественных условиях.

Выбор данного критерия является совершенно правильным и возражений не вызывает.

В третьем научном положении показано, что повышение устойчивости горных выработок достигается изменением геометрических параметров горных выработок на основе прогноза напряженно-деформированного состояния массива при развитии горных работ.

Автор провел широкие исследования НДС массива горных пород на модели методом конечных элементов с использованием программного комплекса Abagus, где в полной мере использовал полученные данные по определению физико-механических свойств руды, вмещающих пород и закладки, а также параметры залегания рудной залежи, наличие предохранительного целика под водоносным горизонтом, а также возможный порядок развития горных работ.

Моделирование проведено для конкретного участка рудного поля, при этом учитывалась величина накопленных на предыдущих этапах смещений и деформаций, ожидаемый гидравлический напор от водоносных горизонтов.

Показано, что на границе очистных работ с ростом глубины разработки наблюдается плановый рост нагрузок и при достижении отметок отработки 12-го слоя, то есть углубления на 150м, достигается предельная концентрация напряжений, где происходит потеря устойчивости горных выработок.

Делается вывод, что на глубинах порядка 55 м и напряжениях на контуре выработки равном 17,98 МПа необходимо разработать мероприятия по повышению устойчивости выработок.

Проведенное дальнейшее моделирование позволило установить снижение напряжения в зоне очистных работ при изменении параметров (высоты) выработки с 12 до 6 м, соответственно снижение напряжений с 17 Мпа до 10 Мпа. Обоснованно сделан вывод, что уменьшением высоты очистных выработок можно добиться повышения устойчивости горных конструкций при росте глубины разработки.

Все три научных положения обоснованы и возражений не вызывают.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается:

- использованием апробированных методик и современной аппаратуры при исследовании физико-механических свойств руд, пород и закладки, а также при натурных измерениях;
- корректным использованием основных положений геомеханики при численном моделировании распределения НДС массива;
- удовлетворительной сходимостью инструментальных натурных исследований с результатами численного моделирования.

Научная новизна диссертации состоит в установлении закономерностей изменений НДС массива при применении инновационной технологии разработки богатых железных руд с учетом развития горных работ в шахтном поле, на основе разработанной пространственной геомеханической модели, позволяющей в полной мере учесть гидрогеологические и геомеханические особенности строения массива горных пород.

Практическое значение работы заключается в прогнозе развития геомеханического состояния массива горных пород при ведении горных работ и разработке рекомендаций по обеспечению устойчивости горных выработок при переходе работ на глубокие горизонты.

По диссертации Тхорикова А.И. имеется ряд замечаний

1. В первой главе диссертации рассмотрены горно-геологические условия разработки Яковлевского месторождения, применяемые технологии разработки богатых железных руд и методы оценки устойчивости горных конструкций, но не приводится обзор работ, связанных с оценкой напряженно-деформированного состояния массива, выполненных различными исследователями применительно к условиям Яковлевского месторождения, тем более что, название работы звучит «Прогноз НДС массива...». Это упущение диссертанта, поскольку нельзя сравнить полученные результаты с данными других работ. В то же время на стр. 5 автореферата говорится, что приведена оценка мирового опыта прогноза НДС рудного массива при ведении горных работ.

Также в выводах по главе изложены цели и задачи исследований, которые ранее отмечены на стр. 5. Ничего не сказано об особенностях строения массива, обоснования выбора технологий для последующего решения геомеханических задач.

Название §2.2. звучит как «Исследование природного поля напряжений и его изменение при ведении горных работ», но исследований по изучению исходного поля напряжений не приводится.

В параграфе даны сравнительные результаты моделирования и натурных измерений смещения массива вмещающих пород. Характеристика исходного поля напряжений приводится на стр. 83 при постановке задач математического моделирования по данным измерений, выполненных Дашко Р.Э.

Также в §2.4. говорится об изменении НДС массива при ведении горных работ, а рассматривается характер разрушения массива вокруг выработок при развитии горных работ в слое и образование пустот над заложенным пространством. Как это связано с изменением НДС массива из работы не ясно? Т.е. название разделов не соответствует содержанию.

2. При выборе геомеханической модели отработки Яковлевского месторождения был применен метод конечных элементов и программа

Abagus САЕ. В чем особенности этой программы и как она подходит для решения поставленных задач не ясно?

В расчетной схеме не понятно как учтено наличие водоносных горизонтов и выявленные недозаклады в кровле при нисходящей выемке слоев и как эти факторы оказывают влияние на изменение НДС массива вокруг очистных выработок?

Не приводятся значения параметров, учитывающие нелинейные свойства поведения массива m и S принятые для расчетов, а также параметр трещиноватости пород при расчетах с использованием критерия Хука-Брауна.

Это требует пояснения на защите диссертации.

3. В §3.3. приведены результаты моделирования НДС массива в зоне очистных работ на различных стадиях отработки слоев. Показано, что предельное состояние массива наступает при отработке 12 слоя на глубине 655м, но как это определено из работы не ясно. Показано, что данное состояние наступает на контуре выработки при нормальном напряжении 17,98 МПа, но почему при таких напряжениях произойдет разрушение массива в работе не показано.
4. В диссертации рекомендуется, в случае наступления критической ситуации, переходить на уменьшение высоты очистной выработки до 6м, но как в этом случае сохранить полигональность форм очистных забоев остается вопросом?

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы, которая выполнена на актуальную тему и имеет научное и большое практическое значение.

Кандидатская диссертация является квалификационной работой. Следует отметить, что автор проявил широкие знания и трудолюбие в производстве экспериментальных исследований по определению физико-механических свойств руд, пород и закладки, натурных исследований в производственных условиях, разработке и применении численного моделирования НДС массива для решения горных задач, что характеризует его как сформировавшегося специалиста, способного самостоятельно решать сложные проблемы горного производства.

Результаты диссертационной работы освещены в 5-ти печатных работах, в том числе в 2-х статьях – в изданиях из перечня научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук (перечень ВАК), в 1 статье – в изданиях входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus). Подана 1 заявка на получение патента. Автореферат кратко отражает основное содержание диссертации.

Диссертация «Прогноз напряженно-деформированного состояния массива при разработке месторождений богатых железных руд», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,

рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 19.12.2019г. № 1755 адм., а её автор – Тхориков Андрей Игоревич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент.

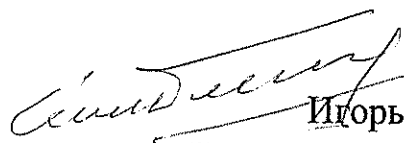
Заведующий отделом «Освоение
месторождений твердых
полезных ископаемых на
больших глубинах «Института
проблем комплексного освоения
недр им. Академика
Н.В.Мельникова РАН

Доктор технических наук,
профессор

Тел. +7 495 360-17-26

e-mail: geoexpert@yandex.ru

дата: 07.09.2021г.

 Айнбиндер
Игорь Израилевич

Подпись Айнбиндера Игоря Израилевича заверяю:

Ученый секретарь
ИПКОН РАН
докт. техн. наук



В.С. Федотенко

Официальный адрес организации: 1191020, Москва, ул. Крюковский тупик, дом 4 Институт проблем комплексного освоения недр им. Академика Н.В. Мельникова РАН.