

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Жабко Андрея Викторовича «Исследование закономерностей процесса дезинтеграции горных пород на основе теории устойчивости откосов горнотехнических сооружений», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Диссертационная работа Жабко А.В. включает введение, 5 глав, заключение, библиографический список из 336 наименований и 2 приложения. Объем диссертации – 331 страница компьютерного текста, 11 таблиц, 95 рисунков.

1. Актуальность темы диссертации

Предназначение геомеханики состоит в обеспечении безопасной и экономически эффективной разработки месторождений полезных ископаемых с учетом требований экологии и охраны недр. Указанные понятия находятся в постоянном и вполне логическом противоречии между собой. Единственным способом достижения паритета является достоверный прогноз устойчивости горнотехнических сооружений, который опирается на анализ деформационного процесса в различных его стадиях: упругости, пластического и запредельного деформирования, приводящие, в итоге, к разрушению массива. В силу объективных проблем механики дискретных сред, задачи по определению напряженно-деформированного состояния, как правило, решаются с использованием механики сплошной среды и численного моделирования. Наиболее распространенной и теоретически обоснованной является упругая модель, однако она не позволяет оценивать напряжения в наиболее важных для геомеханики неупругих областях, выявлять данные области, а, в случае их наличия, будет искажать деформационную картину. Для наиболее качественного моделирования геомеханических процессов необходимо решать задачи в упругопластической по-

становке. Однако в этом случае возникает целый ряд проблем и противоречий, которые фактически не имеют на сегодняшний день окончательного решения. Например, возникают следующие вопросы: что принять в качестве критерия пластичности или упругости, какова связь между приращениями напряжений и деформаций в стадии пластического упрочнения. Более того, отсутствует также общепринятый критерий прочности (устойчивости) горных пород. Все перечисленное выше тормозит развитие, как численных методов моделирования напряженно-деформированного состояния, так и инженерных методов оценки прочности и устойчивости элементов систем открытой и подземной разработок. Первопричиной этого является недостаточная изученность закономерностей процессов дезинтеграции, пластического деформирования и разрушения горных пород.

Поэтому тема диссертации Жабко А.В., посвященная изучению теоретических закономерностей процессов пластического деформирования и разрушения горных пород, является весьма актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций соискателя, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Основные результаты работы отражены в четырех защищаемых научных положениях.

Первое научное положение. Теоретический критерий устойчивости (разрушения) откосов горнотехнических сооружений методом предельного равновесия, отвечающий условиям необходимости и достаточности статического равновесия твердого тела, на основе которого обоснована геометрия наиболее опасных поверхностей скольжения и их положение в массивах однородных, неоднородных, анизотропных пород с учетом тектонических, сейсмических и гидростатических сил.

Доказательству первого научного положения посвящена вторая глава диссертации, которая изложена примерно на ста страницах. Разработанная автором теория предельного равновесия массивов горных пород имеет математическую строгость выводов и опирается на фундаментальные принципы механики. Тем самым обеспечивается обоснованность данного защищаемого положения. Его достоверность подтверждена сравнением полученных автором теоретических закономерностей с результатами расчетов, моделирования на эквивалентных материалах и натурных данных, используемых в нормативных и руководящих документах по устойчивости бортов карьеров. Новизна первого положения состоит:

- в обосновании недостающего уравнения связи между внутренними реакциями, позволившим привести задачу к статически определенной и, тем самым, получить критерий равновесия призмы смещения, отвечающий условиям необходимости и достаточности;

- в обосновании геометрии и положения наиболее слабых поверхностей скольжения в откосах с использованием математического аппарата вариационного исчисления;

- в получении условий преломления поверхностей скольжения в анизотропных и неоднородных средах;

- в учете тектонических напряжений при оценке устойчивости откосов.

В качестве второго научного положения автор защищает новый строгий аналитический критерий пластичности и прочности горных пород (твердых тел). Он получен из первого научного положения с применением аппарата дифференциального и интегрального исчисления, поэтому степень его обоснованности определяется опорой на модельные представления механики сплошной среды.

По структуре новый критерий пластичности / прочности, полу-

ченный соискателем аналитически, полностью соответствует широко используемому в мировой практике критерию прочности Хука-Брауна, который является эмпирическим. Аналитический критерий Жабко А.В. отличается от упомянутого тем, что взамен трех эмпирических коэффициентов он использует один коэффициент, определяющий последовательный переход из упругого состояния к пластичному и далее - к предельному, т.е. к прочности. Поэтому критерий Жабко А.В. является более общим в силу его теоретического, а не эмпирического обоснования. В одном из предельных случаев теоретический критерий прочности совпадает с критерием Кулона-Мора.

Достоверность второго научного положения подтверждается сравнением полученного аналитического критерия с достаточно представительной выборкой экспериментальных данных при испытании горных пород в объемном напряженном состоянии.

Новизна второго научного положения состоит:

- в получении условия перехода горных пород из упругого в пластичное состояние. Чаще всего в качестве условия пластичности используется критерий Кулона, который выражает не предел упругости, а предел прочности;

- в получении аналитическим способом и доказательстве единства функции критериев пластичности, прочности и пластического потенциала при сдвиговой деформации;

- в том, что критерии пластичности и прочности, предложенные в диссертации, учитывают явление дилатансии в горных породах при пластическом деформировании.

В третьем научном положении предложен вариационный принцип нахождения поверхности разрушения горных пород. Автор теоретически доказал следующее: форма поверхностей сдвиговой дезинтеграции в твердых телах (горных породах) определяется макси-

мальной работой внешних и объемных сил на относительном перемещении частей тела при срезе при минимизации энергии, затрачиваемой на создание данных поверхностей. Данный принцип обобщает теоретические результаты по определению наиболее слабых поверхностей скольжения в откосах, составляющих суть первого научного положения. Тем самым автор открывает для установленных закономерностей процесса разрушения новые области применения в задачах сдвига горных пород и устойчивости подземных выработок. Отмечу, что данные сферы применения выявленных закономерностей выходят за рамки темы диссертации. Но это является не недостатком, а, наоборот, достоинством защищаемой работы, показывая ее фундаментальный характер.

Необходимо отметить, что для разрушения горных пород вариационный принцип нахождения поверхностей сдвига в общем виде предлагается соискателем впервые. Из него следует ряд крайне интересных и важных практических следствий. Во-первых, при постоянстве внешней нагрузки и отсутствии объемных сил, в однородной среде поверхности разрушения будут представлять собой плоскости, что подтверждается экспериментом и натурными наблюдениями. Во-вторых, при отсутствии внешних сил и постоянстве удельной работы разрушающих сил и удельной поверхностной энергии разрушения, поверхностью разрушения будет дуга окружности (для плоского случая). Данный результат также находит свое подтверждение на практике: поверхность разрушения откосов близка к круглоцилиндрической, явление зональной дезинтеграции. В-третьих, поверхность разрушения выпукла в сторону пластических зон и, наоборот, оконтуривает упругие области, при этом тратится минимум энергии на разрушение. Другими словами, поверхность разрушения разграничивает области с различными энергетическими свойствами (перенапряжен-

ные области и разгруженные области). В-четвертых, доказывається, что радиус кривизны поверхности разрушения, пропорционален радиусу круга Мора и обратно пропорционален объемной силе, вызывающей разрушение.

На основе третьего научного положения, в котором автор обосновал величины удельной поверхностной энергии и работу разрушения, получен критерий роста трещины при сдвиге. То есть, получена зависимость, определяющая условие роста дефекта на любом масштабном уровне, как отношение расстояния между трещинами к их длине. Установлено, что данная условно постоянная величина зависит от угла внутреннего трения. Данный результат является четвертым научным положением, защищаемом в диссертации. Новизна данного положения состоит как в получении самого критерия, так и установлении его взаимосвязи с углом внутреннего трения, что является новым результатом. Обоснованность полученного результата подтверждается совпадением частных значений полученного критерия с обширными экспериментальными и натурными данными, полученными в различных отраслях знаний: геофизика, геомеханика, механика твердого тела, материаловедение и т.д.

Достоверность данного положения подтверждается внутренним физическим единством с концепцией С.Н. Журкова, В.С. Куксенко и М.А., Садовского о самоподобии процессов подготовки разрушений горных пород путем укрупнения, роста трещин и перехода на новый масштабный уровень путем их слияния. Линейный показатель иерархичности в пределах 2,7 - 3,5 сохраняется в очень широком диапазоне масштабных уровней разрушения, начиная с дробления и измельчения материалов вплоть до планетарного уровня. Данные взгляды нашли практическое применение при анализе природной и техногенной сейсмичности массива, в частности, в виде концентраци-

онного критерия прочности горного массива. Он используется при мониторинге состояния выработанных пространств микросейсмическими системами.

3. Значимость полученных результатов для науки и практики

Научное значение работы Жабко А.В., на мой взгляд, состоит в получении посредством механики сплошной среды новых зависимостей и закономерностей, определяющих предельное равновесие откосов, критерии начала пластического деформирования и разрушения горных пород, вариационный принцип определения геометрии поверхности разрушения, и условие роста сдвиговой трещины под воздействием потенциальной энергии деформации. Перечисленные результаты носят фундаментальный характер.

Практическая ценность результатов диссертации заключается в разработке принципиально нового метода оценки устойчивости различных откосов (бортов карьеров, откосов отвалов и пр.), причем для весьма разных условий, начиная от однородного откоса и, заканчивая, подработанным бортом и отвалом на неустойчивом наклонном основании. Разработана методика прогнозирования угловых параметров процесса сдвижения, таких как угол разрыва, сдвижения и граничный угол. От достоверного знания данных параметров на стадии проектирования подземной разработки зависят безопасность ведения горных работ, технико-экономические показатели отработки и т.д., однако их определение, на сегодняшний день, осуществляется посредством инструментальных наблюдений на уже подработанной территории, то есть несвоевременно. В этой связи указанная методика прогноза имеет достаточно важное практическое значение. Предложен метод оценки нагруженности опорных целиков – коэффициента снижения нагрузки, на основе жесткопластической модели, что

имеет очень важное значение для пологопадающих залежей. Для крутых залежей нагрузка на целики определяется, в основном, граничными условиями (естественными тектоническими напряжениями). Полученные критерии пластичности и прочности являются основой для создания новых моделей теории пластичности.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к работам, направляемым в печать. Все основные положения диссертации прошли широкую апробацию и достаточно полно опубликованы в научных изданиях (всего 46 научных статей), в том числе в рекомендованных ВАК (20 статей), опубликованы две научные монографии.

Тема диссертации и защищаемые научные положения соответствуют паспорту специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Диссертация написана грамотным техническим языком, подробно иллюстрирована и оформлена в соответствии с существующими требованиями. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации.

5. Замечания по диссертации

1. В новый критерий пластичности и разрушения пород, теоретически обоснованный автором, введен показатель упрочнения, который изменяется от нуля (при переходе из упругого в пластичное состояние) до единицы (при разрушении). Однако при обработке экспериментальных данных предельные значения данного показателя при разрушении не достигают единицы. Объяснение данного рас-

хождения в диссертации довольно туманно.

2. В современной геомеханике предельное деформирование породных массивов практически не изучено во многом из-за недостаточного осмысления явления дилатансии. В диссертации дилатансия отождествляется с углом наклона предельной огибающей. Хотя многие исследователи обозначают данным термином факт увеличения объема породы при разрушении за счет раскрытия трещин и образования пустот.

3. Формулировка четвертого защищаемого положения не соответствует наблюдаемым на практике соотношениям длин трещин и расстояниями между ними. Как правило, длины трещин больше шага между ними. Достаточно взглянуть на фотографию массива на странице 37 автореферата, чтобы убедиться. Скорее всего, мысль автора состояла в чем-то другом.

4. Используя теорию устойчивости откосов для обоснования углов разрывов при подземной разработке, автор принимает в качестве постулата их постоянство их с глубиной. Данное предположение противоречит практическим данным, полученным на рудниках Кривого Рога, Швеции, Зимбабве, Чили. На них наблюдалось уменьшение углов разрывов всякого бока при увеличении глубины разработки.

6. Заключение

Диссертация Жабко А.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой с использованием вариационных принципов теоретически получены новые закономерности и критерии пластического деформирования и разрушения горных пород, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в решении актуальной проблемы оценки устойчивости откосов горнотехнических сооружений в

различных горно-геологических и технических условиях.

По совокупности полученных новых научных результатов и практическому значению выводов и рекомендаций, диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, а её автор – Жабко Андрей Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
главный консультант по геомеханике SRK Consulting



Макаров
Александр Борисович

125009, Москва, Кузнецкий мост ул., д.4/3, стр.1.
тел. (495) 545 44 17; факс (495) 545 44 18
info@srk.ru.com; www.srk.com
Тел: (916) 612 44 93. e-mail: abm51@mail.ru

Я, Макаров А.Б., согласен на обработку персональных данных.

Подпись главного консультанта по геомеханике, проф. Макарова А.Б.
удостоверяю.

Менеджер по персоналу
SRK Consulting



А.Н. Кувшинова