

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Представленная диссертация включает введение, 5 глав, заключение, библиографический список из 336 наименований и 2 приложения. Объем диссертации – 331 страница компьютерного текста (14 кегль, шрифт «Times New Roman»), 11 таблиц, 95 рисунков.

Актуальность темы диссертации

Обеспечение устойчивости горнотехнических и гидротехнических сооружений (бортов карьеров, откосов отвалов, дамб хвостохранилищ, гидротвалов, шламонакопителей и др.) является одной из приоритетных задач горного дела и смежных с ней отраслей знаний человечества, таких как гидротехническое строительство, промышленное и гражданское строительство и т.д. Вместе с тем существующие способы оценки устойчивости техногенных откосов и естественных склонов имеют ряд принципиальных недостатков, главным из которых является недостаточная обоснованность формы и положения критической поверхности скольжения в откосе. Это приводит, в некоторых случаях, к обоснованию завышенных предельных устойчивых параметров сооружений.

Геомеханика как фундаментальная часть горной науки изучает напряженно-деформированное состояние горных массивов и их разрушение под воздействием природных и горнотехнических факторов. В этой связи, знание критериев пластической деформации и разрушения горных пород, а также закономерностей дезинтеграции горных массивов, представляют собой первоочередные и главенствующие задачи. Не является секретом, что в принципе в настоящее время отсутствует критерий пластичности горных пород, а используемые критерии прочности имеют ряд принципиальных противоречий и нуждаются в корректировке. В качестве критерия пластичности и функции пластического потенциала используются, как правило, предельные условия, например критерий Кулона. Перечисленное выше не позволяет осуществлять надежное прогнозирование напряженно-деформированного состояния элементов систем горных разработок, а пробелы в понимании ме-

ханизма пластического деформирования тормозят развитие теории прогноза сложных геодинамических явлений.

Таким образом, диссертационная работа Жабко Андрея Викторовича, посвященная исследованию закономерностей процесса дезинтеграции горных пород на основе теории устойчивости откосов горнотехнических сооружений, является, несомненно, **актуальной**.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений,
выводов и рекомендаций**

Первое научные положения - теоретический критерий устойчивости (разрушения) откосов горнотехнических сооружений по методу предельного равновесия, отвечающий условиям необходимости и достаточности статического равновесия твердого тела, на основе которого обоснована геометрия (форма и положение в массиве) наиболее опасных поверхностей скольжения в однородных, неоднородных, анизотропных откосах и осуществлен учет тектонических, сейсмических и гидростатических сил.

Доказательству первого научного положения посвящена вторая глава, где развернуто и убедительно, обосновывается теория расчета устойчивости откосов различных геотехнических сооружений в однородных, неоднородных и анизотропных массивах, включая откосы отвалов на различных основаниях и подработанные борта карьеров. Обоснование первого научного положения осуществлено на базе фундаментальных законов и теорем механики и с использованием математического аппарата вариационного исчисления.

Второе научное положение - в рамках модели сплошной среды, обладающей внутренним трением φ и сцеплением C , единый критерий пластичности и прочности горных пород (твердых тел) при сдвиге имеет вид: – в компонентах главных напряжений σ_1, σ_3 :

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2C \sqrt{\left(1 + \frac{\operatorname{tg}\varphi \sigma_1}{C}\right) \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\varphi k \sigma_3}{C}\right)};$$

– в компонентах напряжений на площадке среза τ, σ_n :

$$\tau = C(1 + \sin\varphi) + \frac{1+k}{1-k} C \sin\varphi \ln \left| \frac{(1-k)\sigma_n + 2kC \cos\varphi}{(1+k)C \cos\varphi} \right|,$$

определяющий при $k=0$ – функцию пластического потенциала и начальную поверхность текучести (предел упругости) для горных пород с пластическим характером разрушения; $0 \leq k \leq 1$ – предел прочности горных

пород и предел упругости для горных пород с хрупким характером разрушения ($k \approx 1 - \sin \varphi$); $k \rightarrow 1$ – теоретическую предельную поверхность или предел прочности при сдвиге (срезе), совпадающую с критерием Кулона (Coulomb, 1773).

Третье научное положение. Вариационный принцип дезинтеграции горных пород, определяющий функцию поверхности (траекторию) разрушения. Форма поверхностей сдвиговой дезинтеграции в твердых телах (горных породах) определяется максимальной работой внешних $\sum V$ и объемных $\sum (W - U)$ сил на относительном перемещении частей тела при срезе, при этом минимизируется энергия, затрачиваемая на создание данных поверхностей $\sum 2\eta$:

$$\frac{\int_N V(x, y, y') dn + \int_S [W(x, y, y') - U(x, y, y')] dS}{\int_L 2\eta(x, y, y') dl} \rightarrow \max.$$

Четвертое научное положение. При отсутствии притока энергии извне, сдвиговая дезинтеграция в замкнутой плоской системе может происходить только за счет накопившейся в теле энергии, при этом разрушение или появление трещины на любом масштабном (иерархическом) уровне наступает тогда, когда отношение среднего расстояния между образующимися трещинами к их среднему размеру достигает значения:

$$\lambda = 4 \sin \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) = 2,8_{\varphi=0} \div 3,7_{\varphi=\pi/4}.$$

Обоснование второго, третьего и четвертого научных положений представлены в третьей главе и фактически являются следствием и развитием теории, представленной во второй главе. Обоснованность данных научных положений подтверждается строгостью постановки задач и аналитическим характером реализации их решения.

В главах четыре и пять диссертации обосновываются выводы и рекомендации по практическому применению результатов приведенных исследований для условий подземной разработки месторождений, в частности, рекомендуются методики по прогнозированию некоторых основных параметров процесса сдвижения горных пород, параметров элементов систем подземной разработки, установления прочностных характеристик горного массива.

К доказательной базе диссертации и степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации замечаний не име-

ется.

Достоверность, новизна и значение научных положений и выводов для науки и практики

Достоверность результатов исследований подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов теоретических исследований и экспериментальных данных.

Несмотря на достаточно продолжительную историю развития науки об устойчивости откосов, общей теории их расчета для различных горно-геологических и иных условий создать не удалось. Имеются лишь отдельные и достаточно многочисленные расчетные способы для однородных откосов, а также рекомендации по определению углов излома поверхностей скольжения в анизотропных и неоднородных массивах, которые впрочем, имеют недостатки. В этой связи первое научное положение соискателя обладает целым рядом новых решений, отличающих его от существующих аналогов. Более того в диссертации показывается превосходство полученных результатов.

Это же можно сказать и про аналитический критерий пластичности и прочности, функцию пластического потенциала (второе научное положение), альтернативой которым при расчете напряженно-деформированного состояния, как правило, выступает критерий Кулона, что приводит к существенным погрешностям. На основе полученных теоретических результатов и сравнения их с экспериментальными данными обоснованы некоторые новые физические закономерности протекания пластического деформирования на стадии упрочнения, отличные от представлений механики сплошной среды. А именно, снижение работы минимального напряжения на площадках микросдвигов при пластическом упрочнении, обуславливаемое разуплотнением материалов и явлением дилатансии.

В третьем научном положении получен вариационный принцип дезинтеграции твердых тел и горных пород, для сдвигового характера разрушения, что является новым научным результатом геомеханики и механики разрушения твердых тел. Данный принцип устанавливает положение и форму поверхностей сдвигов в твердых телах, включая горные породы. Практическим приложением данного принципа является объяснение форм поверхностей разрушения откосов сооружений, явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных горных выработок. Показывается, что данный принцип является дезинтеграционным аналогом известного принципа Лагранжа, определяющего упругие перемещения точек при деформировании и обеспечивающие минимум полной энергии системы.

Новизна четвертого положения состоит в обосновании зависимости критерия укрупнения трещин или параметра иерархии горных массивов от угла внутреннего трения, которая определяет степень рассеивания энергии при дезинтеграции. Таким образом, объяснена причина вариации значений параметра иерархии для различных материалов.

К новым научным и практическим результатам исследований также относятся методика прогнозирования углов сдвижения и разрывов на основе разработанной теории устойчивости откосов в комплексе с методами механики сплошной среды (математическое моделирование). Также в диссертации демонстрируется постоянство углов разрыва для однородных массивов, что ранее аналитически не доказывалось, а принималось априори согласно данным натуральных наблюдений. Кроме того, указывается на дискретность значений углов разрыва (сдвижения) в зависимости от устойчивости горных пород над выработанным пространством и показываются причины упомянутой дискретности.

Замечания и вопросы по диссертации.

1. Разработанная в диссертации теория устойчивости откосов сооружений не учитывает влияния бокового зажима, что не позволяет решать задачи в объемной постановке (торцевые участки карьеров и разрезов, отсыпка отвалов в логах и пр.).

2. Непонятно, каким образом в рамках представленной теории устойчивости откосов учесть избыточное поровое давление, возникающее в сжимаемых слабопроницаемых породах (например, в породах гидроотвалов, а также основаниях отвальных и гидроотвальных сооружений).

3. Какова физическая природа того, что поверхности разрушения имеют форму, обеспечивающую кластеризацию тел по энергетическому принципу? Другими словами, почему части разделенного тела имеют повышенный и пониженный потенциал энергии, то есть возникает энергетический контраст.

4. Непонятно, почему автор не сформулировал научное положение по сдвижению горных пород и расчету опорных целиков, хотя данный вопрос достаточно подробно рассмотрен в диссертации. В последние годы задачи по оценке устойчивости подрабатываемых техногенных откосов и естественных склонов очень часто возникают в различных горнодобывающих районах, в частности, в Кузбассе под гидроотвалами, отвалами и бортами разрезов производят выемку угля подземным способом.

5. В работе представлена методика определения расчетного значения сцепления структурно-нарушенного породного массива, основанная на предварительном решении задачи устойчивости откоса методом предель-

ного равновесия с учетом фактического положения и ориентации трещин, принадлежащих различным системам, в результате которой определяются средневзвешенное значение сцепления вдоль поверхности разрушения. Возникает вопрос в целесообразности определения величины сцепления породного массива, если она отвечает конкретному положению поверхности разрушения пород, а сама задача устойчивости уже является решенной, т.е. средневзвешенная величина сцепления породного массива является элементом методики расчета устойчивости откоса, а не параметром, характеризующим прочность породного массива.

6. В диссертационной работе указывается, что достоверный прогноз устойчивости откоса, сложенного трещиновато-блочной средой возможен только на основании учета взаимного перемещения и вращения отдельных блоков относительно друг друга, что изменяет условия контактного взаимодействия между ними и приводит к развитию негативных геомеханических процессов. В тоже время, представленные автором работы расчетные положения метода оценки устойчивости откоса, не отвечают сформулированным самим же автором критериям, что не позволяет оценить, необходимо ли действительно учитывать эти факторы, не определена граница условий, когда эти факторы вносят существенное влияние в устойчивость откоса.

Заключение о соответствии диссертации критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней

Работа изложена достаточно грамотным научным языком, основные выводы и результаты носят завершённый характер, правильно раскрывают теоретическое значение научных положений диссертации и естественно вытекают из её содержания.

Полученные в диссертации результаты полностью соответствуют поставленным целям и задачам. Структура диссертации и автореферата имеют логическую последовательность, ясность и полноту изложения. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Личное участие автора в полученных результатах подтверждается достаточным количеством публикаций. Всего опубликовано 46 научных работ, в том числе 20 наиболее представительных статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК России для публикаций результатов диссертаций.

Апробация результатов работы представлена достаточным количеством конференций. Кроме того, основные результаты работы были использованы и внедрены для оценки и обеспечения устойчивости бортов карьера и отко-

сов дамбы хвостохранилища ГОКа «Эрдэнэт» (Монголия).

Содержание и тема диссертационной работы соответствуют перечню областей исследования паспорта специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Отмеченные замечания к диссертации в целом не снижают ценности полученных научных результатов и, в большей степени, направлены на совершенствование будущих научных достижений автора. Диссертационная работа «Исследование закономерностей процесса дезинтеграции горных пород на основе теории устойчивости откосов горнотехнических сооружений» в полной мере соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Жабко Андрей Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент,


профессор, доктор технических наук,
заведующий научно-исследовательской
лабораторией гидрогеологии и экологии
Научного центра геомеханики и проблем горного
Производства ФГБОУ ВО СПбГУ

 Кутепов Юрий Иванович

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет».

199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, д.2,
Телефон: +7(812)-328-84-40, E-mail: kutepov_yu_i@pers.spmi.ru




Исполнительный директор
научно-исследовательского центра
производства Е.Р. Яновицкая
"24" 05 2019 г.